

acondicionamiento acústico

la conversación en espacios de ocio: bares y restaurantes



Trabajo Fin de Grado de: **Sergio Rial Rodríguez.**

Tutora: **Luisa María Segade Zas.**



Universidad de A Coruña (UDC).

Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica (EUAT).

Departamento de Física.

A Coruña, Julio de 2013

*“Los bares, que lugares
tan gratos para conversar.
No hay como el calor
del amor en un bar”.*

Jaime Urrutia y Enrique Bunbury

AGRADECIMIENTOS:

A toda, toda mi familia, hermanos, madre, abuela, tios, ahijada, etc., por permitirme la ausencia en los días de duro trabajo, y mostrarme su apoyo desde la distancia.

A mi tutora, Luisa Maria Segade Zas, por su paciencia y ayuda en todo el proceso, incluso en los temas nuevos para los dos.

A mis amigos que me han ayudado, anímica y físicamente, en momentos de flaqueza, en especial a Xavier Ramos Pérez y Jesús Varela Martínez.

A la ya doctora Enrica D'aula y a su director de tesis, el Dr Joan-Lluís Zamora I Mestre, que pese a hacerlo con total desinterés, me dedicaron su tiempo, cediéndome lo más valioso que las personas pueden llegar a conseguir: su sabiduría.

A “O Lagar de José” por darme la oportunidad de poder aplicar, por vez primera, todos los conocimientos adquiridos.

Por último agradecer a mi Escuela la oportunidad de poder elegir el tema de este trabajo, pues hacer lo que te gusta te da impulso para vencer los aspectos, siempre existentes, menos agradables, y así poder llegar a grandes objetivos; y a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Canales y Puertos por su colaboración a través de Joaquín Suárez López.

RESUMEN

¿Alguna vez te encontraste en un bar o restaurante y mantener la conversación con la persona más cercana era toda una odisea? Este trabajo trata de hacer frente a una realidad que está muy extendida, posiblemente por ser estos locales de pequeña entidad e intentar economizar gastos a la hora del diseño y elección de buenos materiales.

Está claro que un local confortable atraerá clientela, lo que se traducirá en ingresos para poder amortizar la inversión. Por eso se intenta poner en conocimiento de profesionales, decoradores, o promotores la importancia de la acústica para el confort. Así, en principio, se da una noción básica del funcionamiento del sonido, mediante aspectos teóricos, para sentar las bases que posibiliten una mejor comprensión de lo que, posteriormente, se da a conocer en cuanto a normativa. A continuación se realiza un estudio de los materiales: clasificación y chequeo de los existentes en el mercado para su uso.

Finalmente, con la pretensión de no quedarnos en los requerimientos mínimos, nos introducimos en el confort acústico y se expone un método para la evaluación global de la calidad acústica, con dos casos prácticos.

ABSTRACT

Have you ever been in a bar or restaurant so that holding a conversation became an odyssey? The purpose of this work is to find out solutions about this extended problem particularly in small businesses which economize in design and materials.

It is a matter of fact that a comfortable place attracts customers which will mean more profits in order to amortize investment costs. For this reason, we believe it is important for a better understanding to explain to professionals, such as decorators or promoters, how sound works and the normative framework related. All this information will allow to do a suitable selection of materials from those existing in the market.

Finally, with the intention of going further than minimum requirements, we study the fundamentals of comfort acoustic climate and also we show a global assessment of acoustic comfort with two case studies.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	5
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.	7
2.1 Introducción.	7
2.2 El sonido: Generación de la onda sonora.	8
2.3 Conceptos físicos de las ondas sonoras: Frecuencia y longitud de onda.	10
2.4 Cuantificación del sonido.	13
2.4.1 Potencia, intensidad y presión sonoras.	13
2.4.2 La escala de medida: El decibelio.	14
2.4.3 Suma de niveles de presión sonora.	17
2.4.4 Sustracción de niveles de presión sonora.	18
2.4.5 Relación entre estímulo y sensación. La percepción sonora.	19
2.4.6 Curvas de ponderación. Escala de decibelios A.	21
2.5 Espectro de frecuencias de un sonido.	23
2.5.1 Bandas de octava.	23
2.5.2 Evaluación del ruido de fondo.	25
2.6 Propagación del sonido.	27
2.6.1 Fenómenos acústicos influyentes.	30
2.6.1.1 Enmascaramiento del sonido.	30
2.6.1.2 Eco	30
2.6.2 Determinación del nivel de presión sonora en un punto.	31
3. EL SONIDO EN EL INTERIOR DE RECINTOS.	33
3.1 La reverberación.	36
3.1.1 La cámara anecoica.	37
3.1.2 La resonancia.	37
3.2 Estudio acústico del recinto.	38
3.2.1 Galería de los susurros.	39
3.3 Difusión sonora.	40
3.4 La absorción.	42
3.5 El tiempo de reverberación.	45
3.5.1 Cálculo del tiempo de reverberación.	45
3.5.2 Valores óptimos del tiempo de reverberación.	47

4. MARCO LEGAL DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.....	51
4.1 Encuadre de bares y restaurantes en algún tipo de recinto.	51
4.2 Exigencia del acondicionamiento acústico.....	53
4.3 Cálculo del tiempo de reverberación.....	55
4.3.1 Método de cálculo general.	55
4.3.2 Método de cálculo simplificado.....	57
5. LOS RECINTOS Y SU ENTORNO.....	61
5.1 El aislamiento en el CTE	62
5.1.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo.	63
5.1.2 Aislamiento acústico a ruido de impacto.....	64
5.1.3 Valoración de los materiales que delimitan el local.	65
5.2 Requerimiento del aislamiento.	69
6. ESTUDIO DE LOS MATERIALES.....	75
6.1 Introducción.	75
6.2 Métodos de estudio.....	76
6.2.1 Método del tubo de impedancia acústica, tubo de ondas estacionarias o tubo de Kundt.	77
6.2.2 Métodos de medida en cámara reverberante.....	80
6.3 Clasificación según características acústicas.	82
6.3.1 Materiales porosos, fibrosos y textiles.	85
6.3.1.1 <i>Las lanas minerales: lana de roca y fibra de vidrio.</i>	90
6.3.2 Resonadores de membrana.....	91
6.3.3 Resonadores de Helmholtz o de cavidad.....	94
6.4 Absorbentes porosos, fibrosos y textiles. Soluciones comerciales.	99
6.4.1 Sistemas para falso techo.	100
6.4.1.1 <i>Placas de virutas de madera aglomerada.</i>	101
6.4.1.2 <i>Paneles semirrígidos de lanas minerales.</i>	103
6.4.1.3 <i>Paneles blandos a la flexión (espuma de poliéster, resina de melanina, resina de poliuretano).</i>	108
6.4.2 Elementos singulares absorbentes suspendidos.	111
6.4.2.1 <i>Objetos absorbentes suspendidos.</i>	115
6.4.3 Revestimientos de paredes.....	117
6.4.3.1 <i>Esqueleto rígido.</i>	118
6.4.3.2 <i>Esqueleto flexible.</i>	120
6.4.4 Textiles.	125
6.4.4.1 <i>Cortinas.</i>	129
6.4.5 Objetos y biombos absorbentes.	131
6.4.6 Absorbentes proyectados.	136

6.5 Sistemas perforados y enlistonados. Soluciones comerciales.	138
6.5.1 Escayola perforada.	138
6.5.2 Placa de yeso laminado perforada.	141
6.5.3 Tableros perforados, enlistonados y celosías de madera.	146
6.5.4 Sistemas metálicos perforados para falso techo.	155
6.5.5 Composites y plásticos perforados.	161
7. EL CONFORT ACÚSTICO.	163
7.1 Elección de los materiales para el confort.	163
7.1.1 Pavimentos.	164
7.1.1.1 Pavimentos reflectores	164
7.1.1.2 Pavimentos absorbentes.	164
7.1.2 Revestimientos verticales.	166
7.1.2.1 Revestimientos continuos.	166
7.1.2.2 Aplacados.	167
7.1.2.3 Empanelados lisos blandos a la flexión.	167
7.1.3 Falsos techos.	168
7.1.4 Otros elementos.	169
7.2 Cuantificación del confort.	171
7.2.1 Métodos de evaluación.	171
7.2.2 ICADA, “Índice de calidad acústica global de la arquitectura interior”	175
8. CASOS PRÁCTICOS.	181
8.1 “O Lagar de José” de la calle Posse.	183
8.1.1 Descripción del local.	183
8.1.2 Cálculo del índice.	185
8.1.3 Análisis de resultados.	186
8.2 “O Lagar de José” de la calle Copérnico.	187
8.2.1 Descripción del local.	187
8.2.2 Cálculo del índice.	190
8.2.3 Análisis de resultados.	190
8.3 Comparativa y conclusión.	191
9. CONCLUSIONES.	193
10. BIBLIOGRAFÍA.	195
10.1 Bibliografía de autores.	195
10.2 Fuentes normativas.	196
10.3 Páginas web.	198

ÍNDICE DE TABLAS	203
ÍNDICE DE GRÁFICOS	205
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	207
ÍNDICE DE FIGURAS.....	209

1. INTRODUCCIÓN.

La última campaña publicitaria en España de, probablemente, la marca más internacional de un refresco, lleva por lema “benditos bares”. En ella se ensalzan estos lugares como punto de encuentro común e importante para las relaciones humanas, y es que una sociedad como la española incluye dentro de los hábitos diarios visitas a bares y restaurantes, tanto para ocio como, a menudo, para conversaciones profesionales y de negocios. Sin embargo muchos de estos locales son pequeños negocios, la mayoría familiares, en los que las reformas no las realizan técnicos especializados en estas actividades, por lo que se aplican las técnicas generales, olvidándose de sus características específicas. Esto hace que aunque sean locales muy concurridos, en los que la gente pasa una parte importante de su tiempo, no tienen a menudo un ambiente acústico agradable (lo que sería “un nivel de presión sonora de ruido de fondo” elevado) provocando malestar e incluso con el tiempo lesiones en el oído.

El ruido ambiental ya fue considerado como contaminante en el Congreso Mundial del Medio Ambiente celebrado en 1972 en Estocolmo. En este sentido se ha avanzado mucho en cuanto a exigencias, aunque hasta ahora, fundamentalmente en el campo del aislamiento, es decir, de dotar a los elementos constructivos de la capacidad de impedir que los elementos separadores transmitan el ruido de unos ambientes a otros. Es de resaltar que España es uno de los países que va a la cola de Europa en este aspecto.

Pero de lo que se habla en el primer párrafo no es de aislamiento, sino de **acondicionamiento** del interior de los locales, pues ese “ruido” va a estar provocado por unas personas y afectará a otras, todas dentro de un mismo local.

Además, un alto grado de confort provocará que la clientela esté a gusto, lo que se traducirá en un mayor número de asistentes, pudiendo así amortizar la inversión realizada en su acondicionamiento. En los últimos años se ha avanzado mucho en el estudio y aparición de nuevos materiales, pero sobre todo lo que de verdad importa es aumentar la concienciación para que se normalice el dar importancia al confort acústico, desde el diseño a la ejecución de estos locales.

Sin duda también, en la línea del avance tecnológico del ser humano de estandarizar y cuantificar todo, se intenta desarrollar tecnología para medir el confort acústico (el aislamiento ya se puede medir), encontrándonos aquí con otro gran problema a abordar: la parte subjetiva. La **psicoacústica** estudia la percepción del sonido desde la psicología (percepción sonora subjetiva), describiendo la forma en que son percibidas las características del sonido, incluyendo la percepción espacial a través del sonido.

Y por si fuese poco la complejidad de la parte subjetiva en cuanto a su estandarización para una cuantificación, también hay que tener en cuenta las “expectativas” que un usuario tiene antes de entrar en contacto con un determinado objeto, electrodoméstico o, en este caso, ambiente, y que van

a influir en la valoración del mismo, pudiéndose dar el caso de que con el mismo “ruido de fondo” estés a gusto en un local y no en otro para el que tus expectativas eran diferentes.

Muchos profesionales creen que aun no se han alcanzado los niveles de exigencia mínima en la edificación en lo que a acústica se refiere, y sin embargo el ciudadano exige a su entorno un nivel alto en confort, por lo que el incremento de nivel tendrá que ser mayor en el campo acústico que en otros, requiriendo un esfuerzo en todos los ámbitos: desde la estandarización de los materiales a utilizar para las distintas situaciones hasta la especialización de los profesionales, pasando por todas las fases, incluidas la formación del personal que se encarga de la colocación de dichos materiales en obra.

Por ello desarrollaremos en los siguientes apartados el comportamiento del sonido en el medio, como viaja a través de él, como se comporta cuando encuentra un obstáculo, para luego meternos en profundidad en las unidades de actuación y los materiales existentes, así como en el marco legal que regula la acústica en bares y restaurantes, sin incluir en estos los que ofrecen espectáculos o actuaciones en directo, pues ya deberán poseer un estudio acústico específico.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1 Introducción.

No se puede comenzar de otra manera hablando del sonido más que por la base del funcionamiento que uno aprende en la escuela. De esta manera tenemos tres elementos indispensables:

El emisor: hay diversos tipos de emisores, desde el sonido generado por un ser vivo (la palabra del humano un poco más elaborado) hasta los complejos equipos electroacústicos, pasando por la simpleza de algunos, y sofisticación de otros instrumentos musicales y de amplificación del sonido. El título de este trabajo no nos ofrece equívoco alguno de cuál es el emisor que nos ocupa. Lo que alimenta la conversación en los espacios de ocio es sin duda la palabra, en representación del principal método de comunicación, sin olvidar que puede haber otros que no emiten sonido alguno.

El canal o medio de transmisión: no es otro que el aire que nos rodea, a través del cual intentamos comunicar los mensajes al receptor.

El receptor: que es el que percibe el sonido (con el oído que es el captador) y a continuación lo procesa (con el cerebro: centro de tratamiento de la información), para poder así interpretar dicho mensaje y entenderlo.



Figura 2.a- Emisor-medio de transmisión-receptor. Fuente: elaboración propia.

No quiero pasar por alto la subjetividad a la que está sometido dicho mensaje: por un lado lo transmite un emisor, en unas determinadas condiciones y con unas expectativas, y lo interpreta el receptor, probablemente en el mismo medio que el anterior pero influido por sus condiciones tanto físicas como psíquicas. Veremos más adelante la relevancia que alcanza este aspecto en el confort acústico.

2.2 El sonido: Generación de la onda sonora.

Para iniciarnos en este tema tomaremos un ejemplo muy práctico que utiliza José Fernando García-Rebull Salgado en sus notas de acústica aplicada [1]. Imaginemos una lámina de acero sujeta verticalmente en su base y con una pequeña masa en su extremo superior, en la que aplicamos una fuerza para provocarle un movimiento de vaivén. Esta irá de un lado al otro pasando por su posición inicial (posición de equilibrio). Si no existiese pérdida de energía por rozamiento el movimiento continuaría indefinidamente. Este tipo de movimiento, bajo la acción de una fuerza recuperadora de tipo elástico y en ausencia de todo tipo de rozamiento se denomina **movimiento armónico simple**, que es el más sencillo de los movimientos vibratorios. Un movimiento vibratorio es pues un **movimiento periódico** de un cuerpo alrededor de una posición de equilibrio. La oscilación o vibración completa es el movimiento efectuado hasta volver al punto de partida.

El sonido se puede definir como una sensación producida en el oído debida a la vibración mecánica de los cuerpos transmitida en un medio elástico. El movimiento de vibración que genera el foco del sonido se comunica a las moléculas del medio que se encuentran en las proximidades de este, generando contracciones y dilataciones que a su vez se transfieren a las zonas colindantes tal y como se puede ver en la figura 2.b. Esta perturbación provocada en el medio se propaga a través de este en forma de onda, y el movimiento que describe su propagación se denomina **movimiento ondulatorio**.

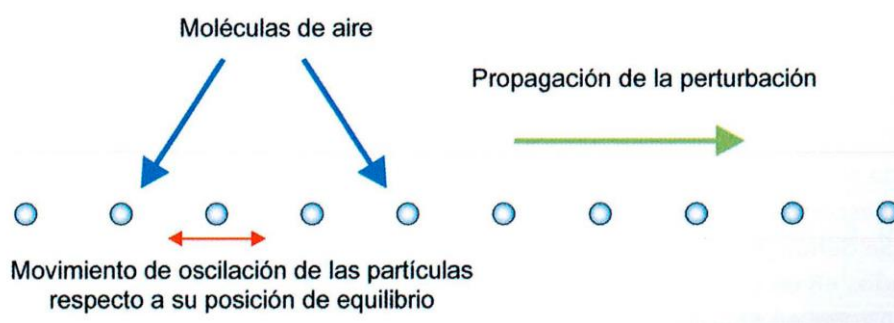


Figura 2.b- Interacción de partículas. Fuente [2] Guía acústica.

Si se realiza una descripción más exhaustiva del fenómeno en un medio como el aire, se puede afirmar que como consecuencia del agrupamiento de moléculas se producen incrementos de presión locales (zonas de compresión) respecto a la presión inicial, P_0 , que se desplazan induciendo en otras una disminución de presión respecto a la presión inicial, que no es más que una menor concentración de moléculas en volúmenes elementales de aire (zonas de rarefacción).

Podemos decir entonces que una compresión se corresponde con una región donde la presión es ligeramente superior a la presión inicial y una rarefacción es aquella donde la presión resulta ligeramente inferior a la presión inicial. Si en un instante determinado representamos la variación de la presión incremental $P = P_T - P_0$, donde P_T es la presión total instantánea en el punto de observación, frente a la distancia al origen de la perturbación, el resultado es una función sinusoidal tal y como se muestra en el gráfico 2.a.

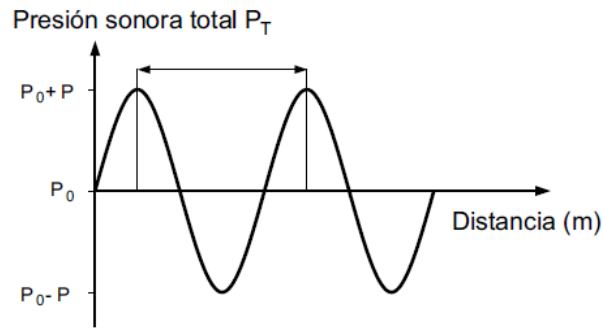


Gráfico 2.a. Presión sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Esta variación de presiones respecto a la presión la presión inicial, que sería la presión atmosférica (P_{at}) por ser el aire el medio de transmisión, es lo que provoca la propagación de una perturbación, tanto en el espacio como en el tiempo, dando lugar a una onda mecánica que, en el caso de ser audible, se denomina **onda sonora**. Las zonas de tracción y compresión viajan a una velocidad determinada conocida como velocidad del frente de onda, mientras que el punto de agitación inicial se denomina foco de ondas.

En la figura 2.c se puede ver de una manera más clara como actúa una perturbación iniciada, en este caso, en el extremo izquierdo.

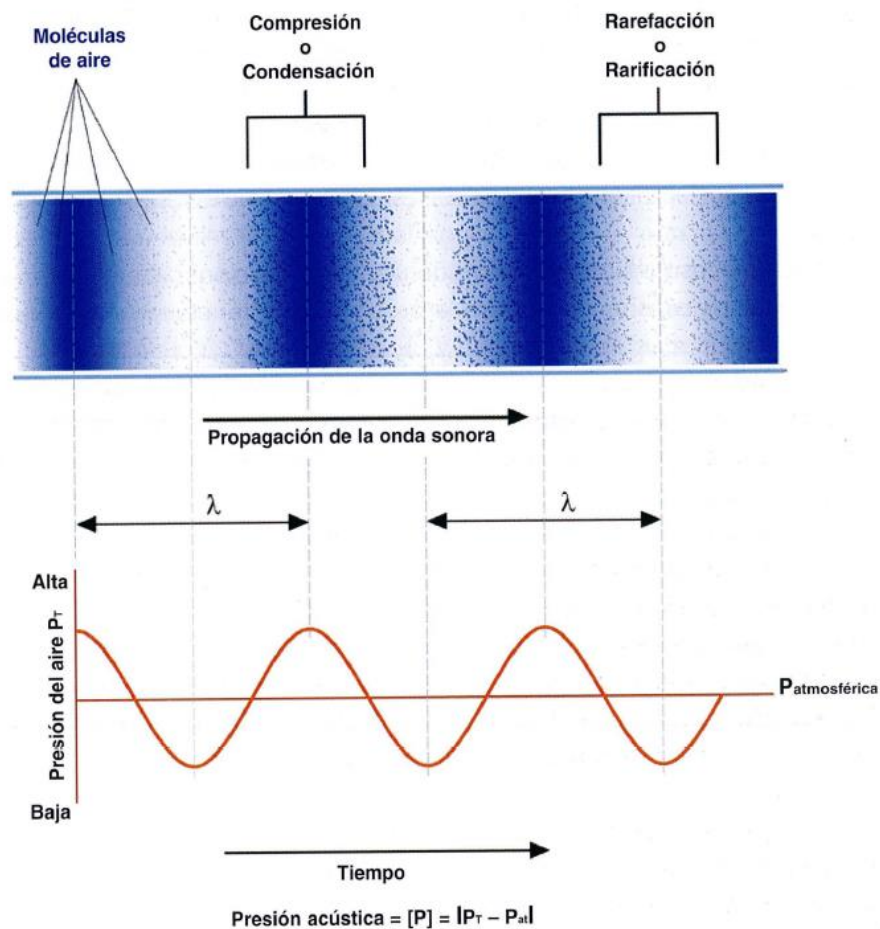


Figura 2.c. Propagación de una perturbación. Fuente [2] Guía acústica.

La distancia entre compresiones o rarefacciones sucesivas se denomina longitud de onda (λ), concepto que se ampliará en el siguiente apartado.

De este modo, una perturbación inicial inducirá ligeras variaciones en la presión del aire respecto a la presión atmosférica y, por tanto, la aparición de una presión incremental (P) denominada presión acústica. La presión acústica se puede definir, entonces, como la diferencia existente entre la presión total instantánea en presencia de la onda acústica (P_T) y la presión estática en ese punto (P_{at}) en ausencia de la onda. Estas variaciones de presión inducidas son muy inferiores a la presión atmosférica, $P \ll P_{at}$. Aunque en la realidad, la onda acústica no está producida por una sola perturbación, sino por un conjunto de ellas.

En este proceso de propagación de las ondas sonoras en el aire, la onda viaja en la misma dirección en la que las variaciones de presión tienen lugar, pues así es el desplazamiento de las partículas respecto a su posición de equilibrio. Estas ondas se denominan ondas longitudinales. Pero hay que tener en cuenta un detalle muy importante: **tan sólo se propaga la perturbación, pues las moléculas únicamente vibran hacia delante y hacia atrás alrededor de sus posiciones de equilibrio, posiciones a las que regresan al cesar tal perturbación, es decir, no hay un desplazamiento importante de las moléculas en el espacio.**

Finalmente nuestro oído tiene la capacidad de captar estas fluctuaciones de presión (compresiones y enrarecimientos respecto a la presión atmosférica) y las transforma en estímulos nerviosos que son interpretados por el cerebro, produciéndose la sensación de sonido. Es aquí donde influye la subjetividad, pues la sensación percibida (efecto) es una interpretación del cerebro de cada individuo a partir de la onda sonora (la causa o el estímulo), es decir, a partir de una misma onda sonora, cabrían dos interpretaciones distintas.

2.3 Conceptos físicos de las ondas sonoras: Frecuencia y longitud de onda.

En el último párrafo del apartado anterior hacíamos hincapié en que en el estudio del sonido hay que diferenciar claramente los aspectos físicos, pues éste comparte todas las propiedades que caracterizan al movimiento ondulatorio, y los aspectos fisiológicos relacionados con la audición o sensación sonora que genera.

La vibración de una partícula se define con dos conceptos:

- a) La amplitud de oscilación (A): separación máxima respecto a la posición de equilibrio. En el gráfico 2.b sería x_0 .
- b) La frecuencia (f): número de ciclos completos realizados por unidad de tiempo o, también, el número de veces que la partícula pasa por una misma posición en el mismo sentido en la unidad de tiempo (vibraciones lentas o rápidas).

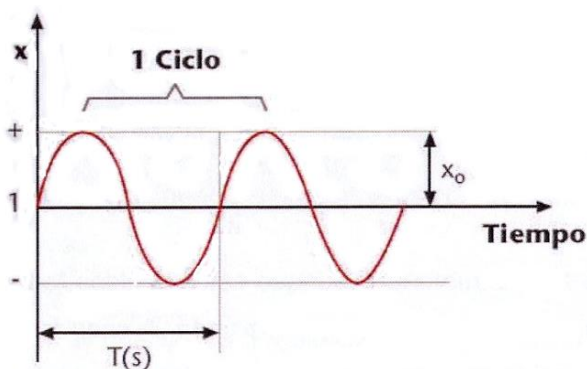


Gráfico 2.b- Ciclo y período de una onda. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Las características de las ondas sonoras quedarán determinadas por los valores que adopten tales conceptos físicos y, por consiguiente, también las sensaciones subjetivas que ellas induzcan.

La frecuencia sonora se puede definir como **el número de variaciones de presión de la onda en un segundo**. Es un parámetro íntimamente relacionado con el movimiento de vibración de las partículas respecto a su posición inicial de equilibrio que indica la rapidez con que se producen las variaciones de presión. La frecuencia **se expresa en Hertz o hercio (ciclo/s)**. 1 Hertz = 1 Hz = 1 ciclo/s. Por ejemplo, cuando nos referimos a una frecuencia de 1.000 Hz indicamos la generación de 1.000 variaciones de presión por segundo.

La frecuencia genera la sensación subjetiva del tono (definido a continuación). Convencionalmente se establecen tres intervalos de frecuencias: bajas, medias y altas. Las primeras inducen la sensación de sonidos graves y las últimas de sonidos agudos. La correspondencia se puede observar en el gráfico 2.c.

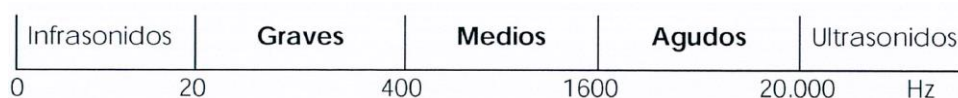


Gráfico 2.c. Frecuencia y tono de los sonidos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Las ondas sonoras producen sensaciones en el sentido del oído humano cuando la amplitud de la presión acústica supera unos valores umbrales y el rango de frecuencias está aproximadamente entre 20 Hz y 20 kHz.

El **período** (T) (grafico 2.b) determina la duración de un ciclo de la vibración y se expresa en segundos. Este concepto puede definirse como el tiempo que tarda la vibración en repetirse. El período y la frecuencia son magnitudes inversas ($T = 1/f$ o bien $f = 1/T$).

Un movimiento armónico simple provoca ondas armónicas. Su perfil es una curva seno o coseno. La representación de un sonido de una única frecuencia (tono puro), es la onda sonora más sencilla, pero prácticamente nunca aparece fuera del laboratorio, ya que en la realidad prácticamente todos los sonidos, y en consecuencia los ruidos, son producidos por movimientos vibratorios complejos; es decir, por la composición de un número indefinido de distintos movimientos vibratorios simples (de

distintas amplitudes y frecuencias). Los sonidos periódicos reales, procedentes de **vibraciones complejas**, poseen una **frecuencia fundamental** que determina su **tono** y va acompañada de un cierto número de **armónicos** (otras frecuencias múltiplos de ella variables en intensidad) que dan lugar, en virtud de su proporción e intensidad, a su **timbre**.

Puesto que nuestro objetivo es analizar la conversación, teniendo en cuenta el timbre, la voz humana puede cubrir una banda sonora que va desde los 80 Hz a los 8.000 Hz en el hombre y de los 140 Hz a los 9.000 Hz en el caso de la mujer.

La longitud de onda (λ) puede definirse como la distancia necesaria para que una onda sonora realice un ciclo completo; es decir, la distancia necesaria para que la presión aumente ligeramente por encima del valor de la presión atmosférica, disminuya a continuación hasta unos índices ligeramente inferiores al de ésta y aumente de nuevo hasta el mismo valor inicial. Se mide en unidades de longitud.

Los sonidos agudos, que son los de altas frecuencias, poseen longitudes de onda pequeñas, ya que las ondas se encuentran próximas entre sí; por el contrario, en los sonidos graves, o bajas frecuencias, las longitudes de onda son grandes.

Podemos considerar para las ondas periódicas que la velocidad de propagación a la que viaja la perturbación ondulatoria es constante y sería una longitud de onda λ en un intervalo de tiempo de período T . En consecuencia, para las ondas periódicas: $v = \lambda/T = \lambda \cdot f$. Es decir, la longitud de la onda y la frecuencia son magnitudes inversamente proporcionales. Es importante distinguir entre la velocidad de propagación de la onda y la velocidad de las partículas del medio, que generalmente son distintas.

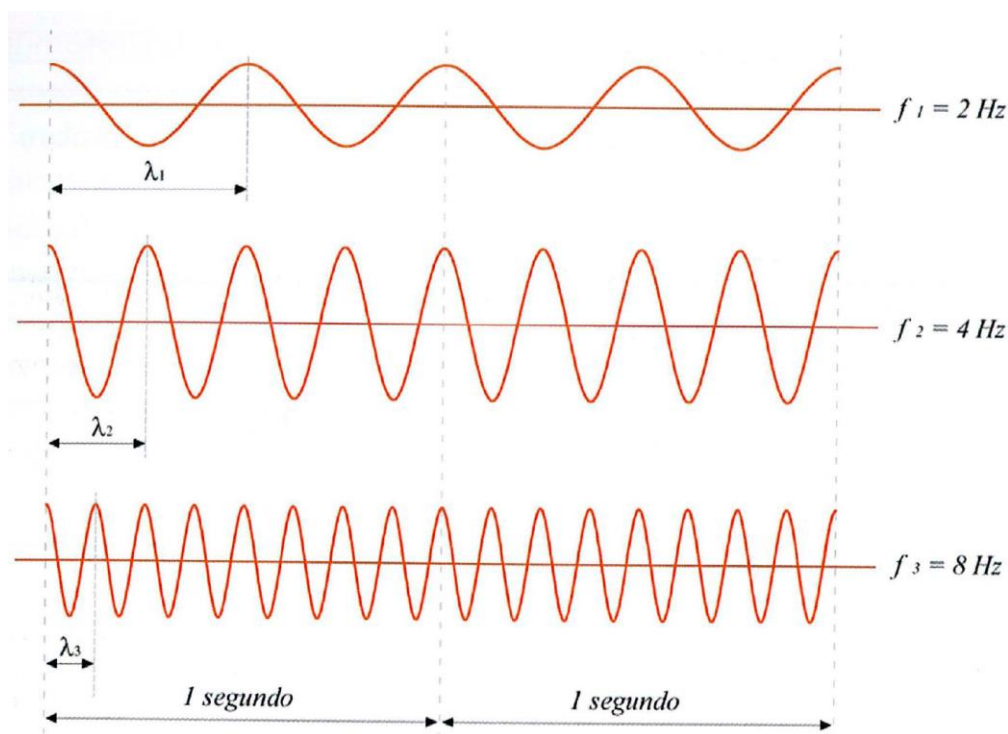


Gráfico 2.d. Frecuencia y longitud de onda. Fuente [2] Guía acústica.

En el gráfico anterior se ve claramente cómo a medida que se incrementa la frecuencia de un sonido (f , en ciclos/segundo) disminuye su longitud de onda (λ , espacio necesario para que la onda sonora realice un ciclo completo).

A partir de la velocidad y la frecuencia de un sonido puro resulta posible conocer la longitud de onda que posee. Si consideramos una velocidad del sonido en el aire de 345 m/s, podemos calcular las longitudes de onda de los extremos del espectro de frecuencias audibles, que generalizando son 20 Hz y 20000 Hz:

$$\lambda_{20 \text{ Hz}} = \frac{345}{20} = 17.25 \text{ m} \quad \lambda_{20.000 \text{ Hz}} = \frac{345}{20.000} = 1.7 \text{ cm}$$

Ecuación 2.a

El concepto de frecuencia y longitud de onda son dos aspectos importantísimos a tener en cuenta pues la eficacia y selección de las medidas a adoptar, dependerá de sus valores, con lo que será el primer análisis a realizar en cuanto al sonido que va a haber en bares y restaurantes.

2.4 Cuantificación del sonido.

2.4.1 Potencia, intensidad y presión sonoras.

Las magnitudes físicas relacionadas con la energía que posee un sonido son las reflejadas en la tabla 2.a.

Potencia sonora (W)	Intensidad sonora (I)	Presión sonora (p)
Cantidad de energía sonora emitida (o radiada) por una determinada fuente sonora. Su valor no depende del punto del espacio en que se mide ni de las condiciones del recinto en que se localiza el foco sonoro. Es una magnitud intrínseca o característica de la fuente sonora. La potencia sonora se expresa en vatios (W).	Valor medio de la energía acústica que fluye en la unidad de tiempo a través de una superficie unidad situada perpendicularmente a la dirección de propagación de las ondas sonoras; es decir, potencia acústica media radiada por unidad de superficie. Es una magnitud dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en que se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos, o en un recinto cerrado). La intensidad sonora ¹⁸ se expresa en W/m ² .	Representa el incremento de presión respecto a la presión atmosférica debido a la presencia de la onda acústica; es dependiente de la distancia a la fuente y de las condiciones del lugar en que ésta se encuentre (en campo abierto, sin obstáculos o en un recinto cerrado). La presión sonora se expresa en pascuales (P _a) o N/m ² .

Tabla 2.a. Magnitudes físicas de un sonido. Fuente [2] Guía acústica.

Estas tres magnitudes corresponden a conceptos distintos. Si imaginamos un foco puntual de **potencia sonora** (W) constante, se puede deducir que los frentes de onda esféricos alcanzarán en el

mismo instante los puntos situados a una distancia constante (r) de dicho foco; pero, dado que las ondas se alejan del origen con el tiempo, tal distancia variará y la superficie que éstas han de cubrir se acrecentará, de modo que la **intensidad** (I) disminuirá hasta hacerse imperceptible. Es lo que se conoce como **atenuación de la onda**, concepto que se ampliará en el apartado 2.6.

La **presión sonora** (p) es lo que provoca el desplazamiento de la onda, tal como vimos al principio, y es dependiente de la distancia a la fuente debido a la pérdida de energía causada por el rozamiento de las partículas mientras tiene lugar la perturbación. Dado que su valor medio es prácticamente nulo puesto que toma valores positivos y negativos muy similares, no sirve como indicador, empleándose en su lugar la **presión sonora eficaz** (p_{ef}), que se define como la raíz cuadrada del promedio temporal del cuadrado de la presión sonora instantánea.

2.4.2 La escala de medida: El decibelio.

Como se ha visto, en el apartado anterior se han expresado magnitudes físicas relacionadas con la energía que transportan las ondas sonoras, sin embargo en la audición no existe una proporcionalidad directa entre estas y la sensación fisiológica percibida. Es por ello que se hace necesario introducir una nueva magnitud o escala de medida que permita comparar distintas fuentes de sonido. Para la definición de esta magnitud se tuvieron en cuenta dos aspectos importantes y determinantes como son los expuestos en la tabla 2.b:

a) El oído humano posee gran sensibilidad	b) El oído, desde el punto de vista subjetivo, posee una respuesta de carácter logarítmico y no lineal
<ul style="list-style-type: none"> – Es capaz de detectar variaciones de presión de muy pequeña amplitud²⁰. – Responde a sensaciones sonoras que se encuentran en un amplio margen²¹. <p>Por ello había que definir una escala "comprimida", variable en un menor margen, que fuese manejable.</p>	Según el comportamiento del oído humano, para que éste aprecie subjetivamente un cambio en el medio como de dos veces más ruidoso, es necesario disponer 10 fuentes sonoras idénticas.

Tabla 2.b. Aspectos a considerar el oído humano. Fuente [2] Guía acústica.

Estas dos premisas fundamentales dificultaron el proceso, por lo que como escala de medición relativa se emplea una magnitud que es el nivel de sonido y cuyas unidades o niveles se denominan decibelios (dB). Dicha escala se basa en el logaritmo decimal, que relaciona la magnitud que se pretende cuantificar (presión, potencia o intensidad acústica) con una referencia correspondiente al límite de sensibilidad humana respecto a tal magnitud:

$$L = 10 \lg \frac{M}{M_0}$$

Ecuación 2.b.

donde:

L= nivel de la magnitud cuantificada (dB).

M= magnitud que se desea cuantificar (en sus unidades naturales).

M₀= valor de referencia de la magnitud (en sus unidades naturales).

La expresión final que indica el nivel de un sonido puede adoptar distintas formas en función de la magnitud que se considera al principio.

Así por ejemplo partiendo de la presión sonora (p) cuyas unidades son N/m² obtendríamos el nivel de presión sonora en dB:

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

Ecuación 2.c.

donde:

L_p= nivel de presión acústica (dB).

P= presión sonora que se desea cuantificar (N/m²).

P₀= presión de referencia, que corresponde al límite de sensibilidad humana a 1.000 Hz (2•10⁻⁵ N/m²).

Por tanto, el nivel de presión sonora, L_p, es la presión sonora expresada en decibelios. Y con esto se obtiene una escala, variable en un menor margen que los umbrales de presión sonora, en la cual el nivel de presión sonora de los sonidos audibles se sitúa en un rango manejable, normalmente de 0 dB a 120 dB, tal y como se puede ver en la figura 2.d:

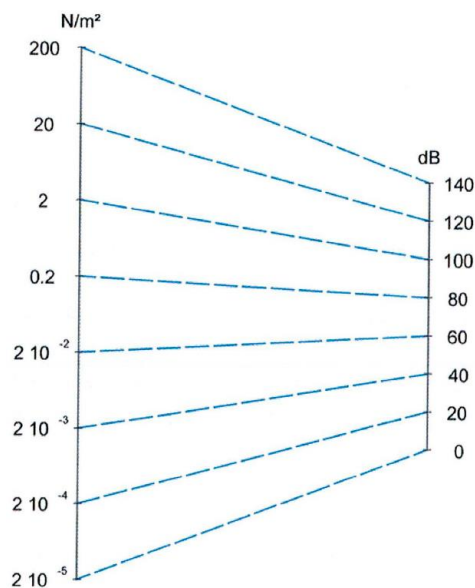


Figura 2.d. Correspondencia de magnitudes. Fuente [2] Guía acústica.

El instrumento diseñado para determinar la magnitud de un sonido mediante la cuantificación del parámetro presión sonora (p) es el **sonómetro**; es decir, la asignación de un valor a la variación de la presión en un punto como consecuencia de la propagación de una onda sonora a través del aire. Adoptan como referencia la presión sonora "umbral" (variación de presión respecto a la presión atmosférica más pequeña que puede ser percibida por el oído humano a 1.000 Hz: $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$, obteniéndose entonces el denominado nivel de presión sonora, L_p (expresado en dB). Es el que se utiliza para la determinación del nivel de presión sonora existente en un local y del ruido que puede comunicarse entre dos ambiente a través de un determinado elemento de separación. El nivel de presión sonora o acústica depende no sólo de la potencia sonora de la fuente, sino también de la distancia entre ella y el punto de medida y de las características acústicas del entorno; por ello, cuando se indica este parámetro han de especificarse tales condicionantes.

En el caso de la intensidad:

$$L_i = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

Ecuación 2.d.

donde:

L_i = nivel de intensidad acústica (dB).

I = intensidad acústica que se desea cuantificar (W/m^2).

I_0 = intensidad de referencia asociada al umbral de audición a 1.000 Hz (10^{-12} W/m^2).

En el caso de la potencia:

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

Ecuación 2.e.

donde:

L_w = nivel de potencia sonora (dB).

W = potencia acústica que se desea cuantificar (W).

W_0 = intensidad de referencia, que corresponde al límite de sensibilidad humana a 1.000 Hz (10^{-12} W).

En definitiva los niveles de potencia acústica, intensidad acústica y presión acústica representan la relación entre dos unidades del mismo orden -potencia, intensidad o presión- mediante una operación logarítmica cuyo resultado es el decibelio, obteniéndose unos índices numéricos. Para hacernos una idea, la tabla 2.c muestra algunas de las relaciones entre la intensidad y la presión acústica en campo libre, así como su correspondencia con el nivel de presión sonora existente:

W/m^2	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}
N/m^2	200	63,2	20	6,32	2	0,63	0,2	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
dB	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Tabla 2.c. Relación de la intensidad y presión sonora y su nivel de decibelios. Fuente [2] Guía acústica.

2.4.3 Suma de niveles de presión sonora.

Algunas de las consideraciones que se desprenden del **carácter logarítmico de la escala** de medida son las siguientes:

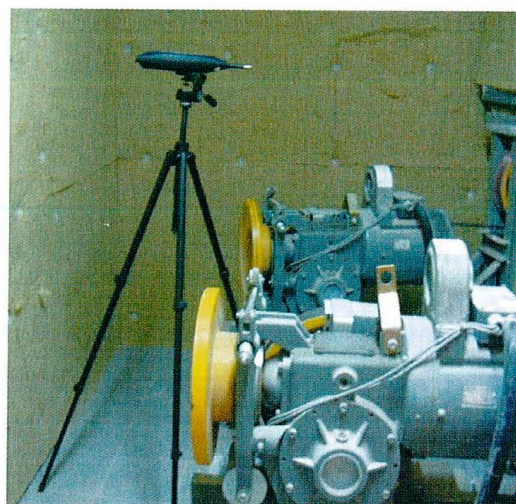
- las medidas o niveles tienen como referencia un nivel cero que corresponde a la menor intensidad acústica audible a la frecuencia de 1.000 Hz.
- Cuando se duplica el número de focos iguales, el nivel sonoro resultante en un determinado punto equidistante será el inicial añadiéndole 3 dB. Por ejemplo, dos focos sonoros que generen 60 dB de nivel de presión sonora cada uno de ellos como los de la figura 2.e, producirán en combinación 63 dB de nivel de presión acústica total. Igual que si lo consideramos a la inversa: una disminución de 3 dB en un sonido implica reducir la energía acústica existente a la mitad.



$$L_{p_1} = 60 \text{ dB}$$



$$L_{p_2} = 60 \text{ dB}$$



$$L_{p_{\text{Total}}} = 63 \text{ dB}$$

Figura 2.e. Suma de niveles de presión sonora. Fuente [2] Guía acústica.

La tabla 2.d nos dice cuál sería el nivel de presión sonora final en el caso de ir incrementando sucesivamente el número de focos, siempre y cuando estos sean del mismo nivel de presión sonora

N.º focos sonoros idénticos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nivel resultante en dB	L	L+3	L+5	L+6	L+7	L+8	L+8,5	L+9	L+9,5	L+10

Tabla 2.d. Suma de focos de igual nivel de presión sonora. Fuente [2] Guía acústica.

- No se puede sumar directamente niveles sonoros distintos, pues el decibelio no es una unidad lineal sino logarítmica. En este sentido, la suma de niveles sonoros (niveles de presión, intensidad o potencia) de “n” fuentes se puede realizar por dos vías, tal y como se explica en la tabla 2.e:

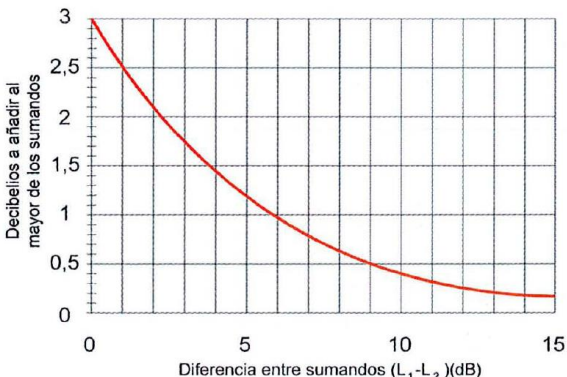
a) Matemáticamente	b) Gráficamente																
<p> $L_{Total} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$; donde L_i representa el nivel sonoro de la fuente i. </p> <p>Ejemplo:</p> <p> $L_1 = 50 \text{ dB}$ $L_2 = 52 \text{ dB}$ $L_3 = 55 \text{ dB}$ </p> <p> $L_{Total} = 10 \log (10^{5,0} + 10^{5,2} + 10^{5,5}) = 57,6 \text{ dB}$ </p>	<p>El gráfico indica cuántos dB se deben añadir a la cantidad mayor en función de la diferencia en dB entre los sumandos. Cuando existan más de dos sumandos, el resultado de aplicar este procedimiento a dos de ellos se sumará al siguiente, y así sucesivamente²⁶.</p>  <table border="1"> <caption>Datos estimados del gráfico</caption> <thead> <tr> <th>Diferencia entre sumandos (dB)</th> <th>Decibelios a añadir</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>5.0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>7.5</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>12.5</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>15.0</td><td>0.4</td></tr> </tbody> </table>	Diferencia entre sumandos (dB)	Decibelios a añadir	0	3.0	2.5	2.0	5.0	1.5	7.5	1.0	10.0	0.7	12.5	0.5	15.0	0.4
Diferencia entre sumandos (dB)	Decibelios a añadir																
0	3.0																
2.5	2.0																
5.0	1.5																
7.5	1.0																
10.0	0.7																
12.5	0.5																
15.0	0.4																

Tabla 2.e. Métodos de suma de decibelios. Fuente [2] Guía acústica.

Matemáticamente podrían realizarse automáticamente con aplicaciones informáticas en corto espacio de tiempo, por ejemplo con hojas de cálculo.

2.4.4 Sustracción de niveles de presión sonora.

Éste es un problema inverso al caso anterior, en el que se trata de averiguar cuál será el nivel de presión sonora de una fuente cuando se conocen los niveles de la presión sonora total (por ejemplo: ruido de la fuente + ruido ambiental) y la presión sonora del ruido ambiental (fuente parada).

Podría ser el caso de calcular el ruido producido por una máquina que se halla inmersa en un ambiente ruidoso. Si restamos al ruido existente con la máquina en marcha el que hay con la máquina parada obtendremos el ruido que hace la máquina.

También se puede realizar por dos vías:

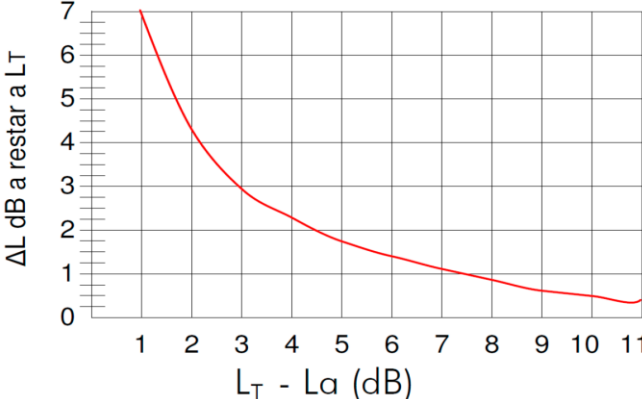
a) Matemáticamente	b) Gráficamente
<p> $L_i = 10 \log [10^{L_{T\text{total}}/10} - 10^{L_a/10}];$ donde L_i es la fuente a calcular (máquina) y L_a es el nivel de presión sonora ambiental. </p> <p> Ejemplo: $L_T = 72 \text{ dB}$ $L_a = 65 \text{ dB}$ (máquina parada) </p> <p> $L_i = 10 \log [10^{72/10} - 10^{65/10}]$ $L_i = 71,03 \text{ dB}$ </p>	<p>El gráfico indica cuantos decibelios se deben restar a la cantidad total (L_T) en función de la diferencia en dB entre los niveles de presión sonora total y el ambiental (L_a).</p> 

Tabla 2.f. Métodos de sustracción de decibelios. Fuente: elaboración propia a partir de [4] ABC de la acústica.

2.4.5 Relación entre estímulo y sensación. La percepción sonora.

Tal y como ya se ha comentado, las fluctuaciones de presión de la onda sonora son captadas por nuestro oído, que las transforma en estímulos nerviosos que son interpretados por el cerebro, produciéndose la sensación de sonido.

La percepción sonora (llamada “sonido”) es el resultado de los procesos fisiológicos y psicológicos que nos permiten interpretar los sonidos recibidos. La **psicoacústica** estudia la percepción del sonido desde la psicología (percepción sonora subjetiva), describiendo la forma en que son percibidas las características del sonido, la percepción espacial a través del sonido, y fenómenos auditivos como el enmascaramiento, que veremos más adelante.

El oído humano posee la capacidad de convertir en sensación sonora aquellas variaciones de presión que oscilen con una frecuencia perteneciente a un abanico que abarca aproximadamente de 20 Hz a los 20.000 Hz, pero aunque en un principio se creía que “las sensaciones son proporcionales a los aumentos de los estímulos, posteriormente Stevens descubrió a partir de las curvas de igual perfil de sonoridad dadas por Fletcher-Munson [6] que el oído no percibe igualmente todas las frecuencias; sino que, dentro del mencionado intervalo, su **sensibilidad es máxima para las frecuencias medias** (desde unos 1.000 a 5.000 Hz) y mucho menor para aquellas de los extremos, siempre hablando para un mismo nivel de presión sonora.

Por tanto, para que el oído perciba los sonidos con la misma sensación sonora subjetiva en cuanto a sonoridad o intensidad subjetiva, los de más baja frecuencia y aquellos de altas frecuencias han de poseer mayor nivel de presión sonora real que los sonidos de las frecuencias centrales.

Esta condición se refleja en el diagrama de las **curvas isofónicas** (gráfico 2.e) o curvas de igual sonoridad, que indican, para cada nivel de sonoridad, el nivel sonoro real de las distintas frecuencias puras que producen la misma sensación sonora. La sonoridad se expresa en **fon** que es una unidad de medida que produce en nuestro oído una sensación sonora equivalente a un sonido de 1 dB a 1.000 Hz.

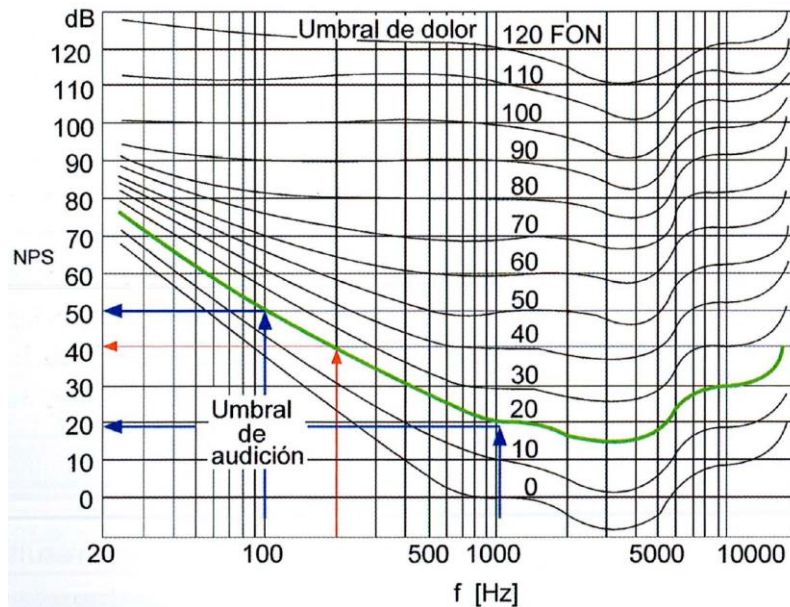


Gráfico 2.e. Curvas isofónicas. Fuente [2] Guía acústica.

Así, en el ejemplo de gráfico 2.e, si observamos la curva de 20 fonios (que a 1.000 Hz son 20 dB) vemos cómo un sonido puro de 100 Hz y un nivel de presión sonora real (NPS) 50 dB provocarán la misma sensación de sonoridad que el de 1.000 Hz y 20 dB de nivel de presión acústica. También se comprueba cómo para la frecuencia de 100 Hz el intervalo de niveles de presión audibles varía de 37 dB a 120 dB.

A continuación, en la tabla 2.d vemos los niveles de presión sonoras que provocan distintas acciones físicas externas para familiarizarnos con la escala de medida del decibelio:

Fuente sonora	Nivel de presión sonora (dB)	Valoración subjetiva
Disparo de pistola	140	Muy molesto
A 60 m. de avión despegando	120	
Obras de construcción	110	
Martillo percutor	100	
Camión pesado	90	Molesto
Calle ruidosa	80	
Conversación entre 2 personas	70	
Interior de automóvil moderno	60	Moderado
Ruido ambiental de oficina	50	
Frigorífico	40	
Dormitorio silenciosos de noche	30	Leve
Cementerio	20	

Tabla 2.g. Sensaciones subjetivas de distintos niveles de presión sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

2.4.6 Curvas de ponderación. Escala de decibelios A.

Por la dificultad vista anteriormente que el oído humano tiene para oír determinadas frecuencias, las medidas acústicas se ponderan o corrigen en función de estas (las frecuencias), adecuando así los valores de los parámetros acústicos obtenidos al comportamiento del oído humano. Para esto se utilizan los “filtros de ponderación”. Así por ejemplo para estudios de contaminación acústica se emplea el “filtro de ponderación A” en los aparatos de medida. Este filtro produce una atenuación importante de los sonidos de baja frecuencia, no modifica la medida del sonido alrededor de los 1.000 Hz y aumenta algo la medida de los sonidos comprendidos entre 2.000 y 4.000 Hz. Así se caracteriza la reacción humana hacia los ruidos complejos y se imita la sensación de molestia que éstos originan. Los decibelios se denominan entonces decibelios A (dBA).

Asimismo, existen otras curvas de ponderación además de la A. En el gráfico 2.f se muestran algunas (nótese que coinciden en 0 dB a 1.000 Hz). Para cada frecuencia, el valor de la ordenada representa la corrección a aplicar al nivel de presión sonora de ésta de cara a obtener el valor del nivel sonoro con la escala empleada.

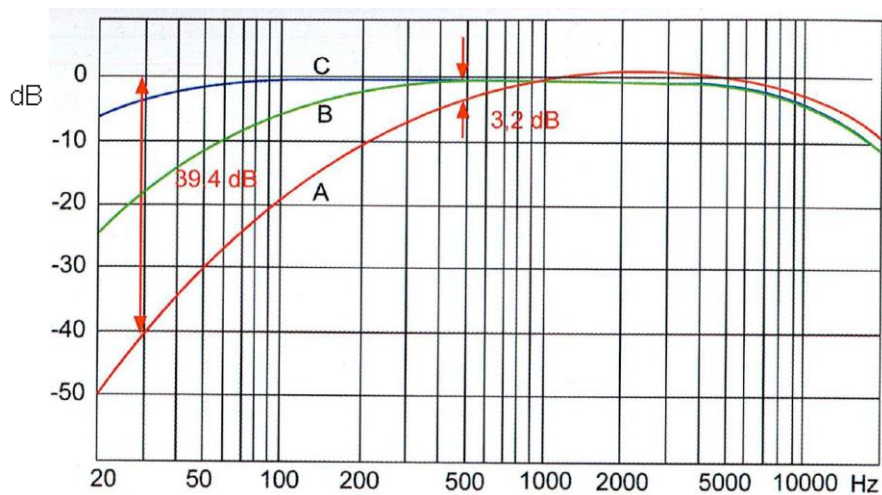


Gráfico 2.f. Curvas de ponderación. Fuente [2] Guía acústica.

Aunque hoy en día la curva de ponderación A es la más comúnmente utilizada y otras han caído en desuso, inicialmente la aplicación de una curva u otra dependía del rango de nivel de presión sonora (NPS) que se intentaba medir. Para que nos hagamos una idea la tabla 2.h nos muestra los usos de las distintas curvas de ponderación:

Curvas	NPS	Usos
A	Bajos (40 fon)	Ruido ambiental
B	Medios (70 fon)	Audiciones musicales
C	Altos (100 fon)	Altos niveles (valores pico de exposición en seguridad e higiene en el trabajo)
D	Muy altos (120 fon)	Reactores

Tabla 2.h. Usos de las curvas de ponderación. Elaboración propia.

En acústica arquitectónica, las bandas de frecuencias empleadas normalmente se sitúan entre los 100 Y los 5.000 Hz, de modo que las ponderaciones según la escala A (curva de ponderación A) para las diferentes frecuencias se muestran en el gráfico 2.g:

Frecuencia (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
Curva de ponderación (dBA)	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9

Frecuencia (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Curva de ponderación (dBA)	-0,8	0	0,6	1,0	1,2	1,3	1,2	1,0	0,5

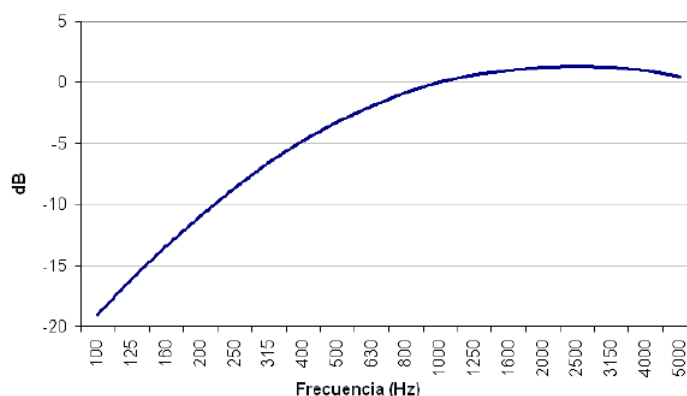


Gráfico 2.g. Curva de ponderación A para las frecuencias normales de acústica arquitectónica. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

2.5 Espectro de frecuencias de un sonido.

2.5.1 Bandas de octava.

Las fuentes de ruido en edificación son muy diversas y, a su vez, cada una de ellas no se puede considerar como emisora de una sola frecuencia, sino como generadora de sonidos compuestos por una combinación de ondas sonoras de distintas frecuencias a diferentes intensidades o amplitudes, que además son variables en el tiempo, tal y como podemos observar en el gráfico 2.h.

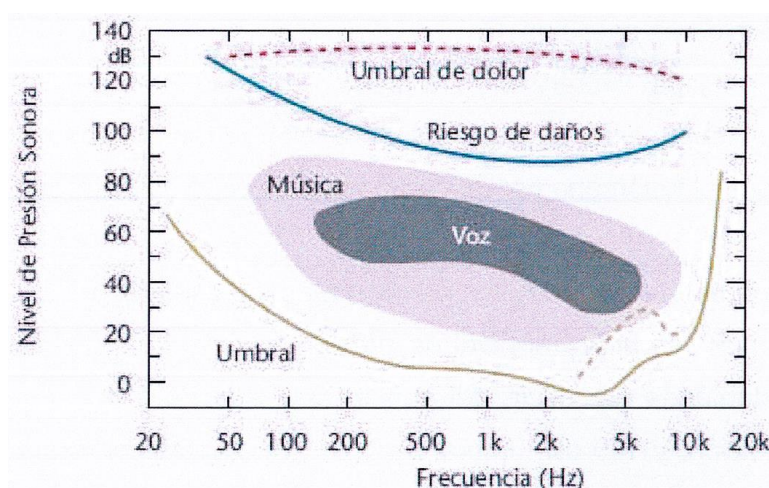


Gráfico 2.h. Frecuencias y niveles de los sonidos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

En primer lugar es necesario conocer la contribución relativa de cada componente de frecuencia al nivel de ruido total para posteriormente proceder a la caracterización detallada de los ruidos. Los

estudios de situaciones se apoyan en análisis frecuenciales pormenorizados, y la Guía acústica [2] recomienda seguir las siguientes fases:

- Identificación de las fuentes de ruido, ya que éstas generan espectros característicos.
- Selección de medidas preventivas y correctoras a adoptar. Los materiales acústicos, aislantes y absorbentes, poseen un comportamiento distinto para las diversas frecuencias del sonido incidente, de modo que para la elección adecuada de éstos resulta preciso conocer aquellas frecuencias problemáticas en el ruido a controlar.
- Evaluación del efecto más o menos perjudicial del ruido, tanto en riesgo auditivo como en sensación de molestia.

Así, el espectro de un sonido, que consiste en la descomposición en las distintas frecuencias que lo constituyen y en la obtención del valor del nivel de presión sonora (L_p en dB) de cada una de ellas, es un instrumento imprescindible para su caracterización y evaluación.

Debido al extenso rango de frecuencias audibles, con el fin de obtener información manejable, las frecuencias acústicas se agrupan en una serie de bandas que conforman la distribución espectral de un ruido y cuyos anchos se encuentran normalizados. Estos anchos se emplean en función del grado de precisión deseado para el análisis acústico.

Los anchos más utilizados son los de una octava y 1/3 de octava. En las primeras se cumple que la frecuencia más alta duplica a la más baja, $f_2 / f_1 = 2$ (también pueden considerarse potencias de dos: $2, 2^2, 2^3, \dots$). En las segundas, basadas en dividir la octava en tres partes, la subdivisión es mucho más restrictiva, pues en cada una de ellas se cumple que $f_2 / f_1 = 2^{1/3}$ y, por tanto, existe una relación constante de 1,26. A la frecuencia central de cada banda se le asigna el nivel resultante de componer todas las frecuencias contenidas entre los límites superior e inferior de dicho intervalo.

Las frecuencias centrales de las bandas de 1/3 de octava son las que se muestran en la tabla 2.i:

OCTAVA (Hz)	125			250			500			1000			2000			4000			8000		
1/3 OCTAVA (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000

Tabla 2.i. Frecuencias de las bandas 1/3 de octava. Fuente [5] Guía de aplicación de DB HR.

El gráfico 2.i representa las frecuencias (Hz) de 1/3 de octava y octava en el eje de abscisas y los niveles (dB o dBA) en el eje de ordenadas:

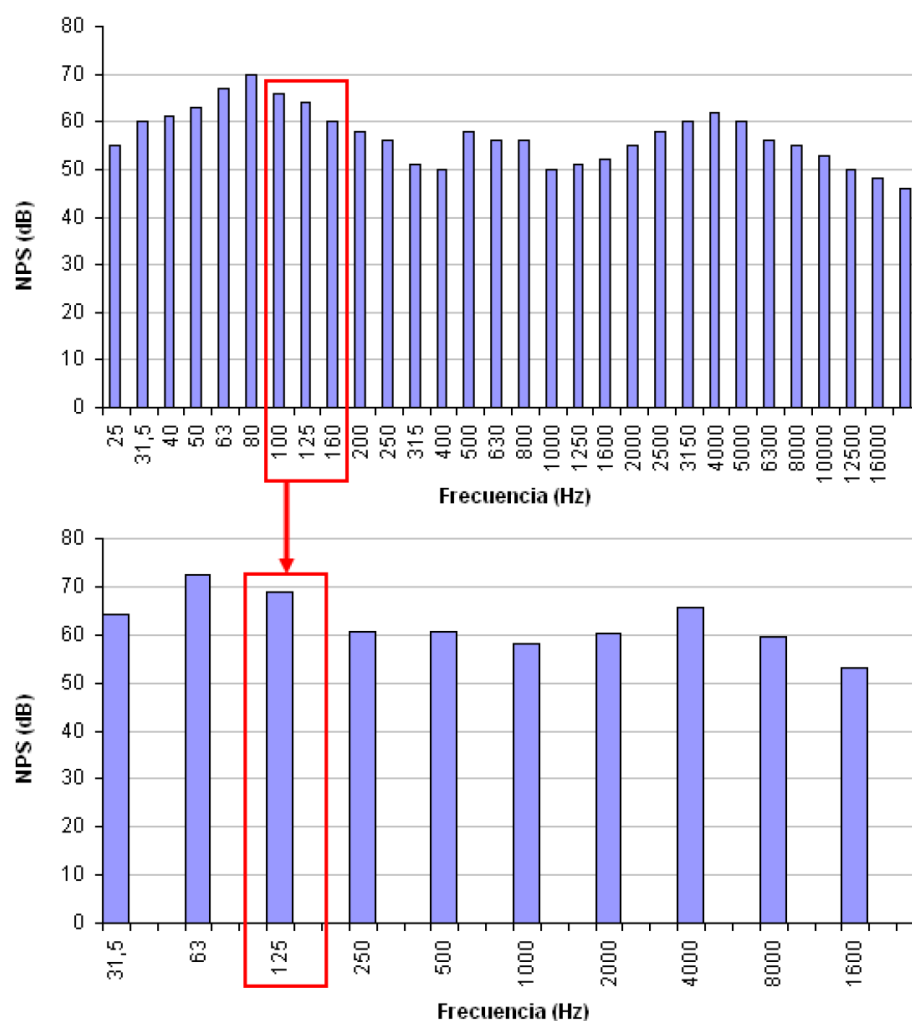


Gráfico 2.i. Frecuencias y NPS de las bandas de octava. Fuente [5] Guía de aplicación de DB HR

Considerando la velocidad del sonido de unos 345 m/s se puede determinar la correspondencia de las frecuencias centrales de bandas de Octava con la longitud de onda, tal y como se realiza en la tabla 2.j:

Frecuencias (f) Hz	31.5	63	125	250	500	1.00	2.00	4.00	8.00	1600
Long. de onda (λ) m	10.95	5.47	2.76	1.38	0.69	0.34	0.17	0.08	0.04	0.02

Tabla 2.j. Frecuencias y longitudes de onda. Fuente [2] Guía acústica.

2.5.2 Evaluación del ruido de fondo.

El **ruido** puede definirse objetivamente, en cuanto que implica el mismo fenómeno físico que constituye un sonido, aunque suele definirse de una manera más subjetiva, considerándose como un sonido molesto o un sonido no deseado. Es decir, el ruido es una apreciación subjetiva del sonido considerándose toda energía acústica susceptible de alterar el bienestar fisiológico o psicológico, interfiriendo y perturbando el desarrollo normal de las actividades cotidianas. Por lo tanto, un mismo

sonido puede ser considerado como molesto o agradable, dependiendo de la sensibilidad o actividad que esté desarrollando el receptor.

Los sonidos que captamos y a los que realmente no les queremos prestar atención porque no forman parte de nuestro centro de atención en ese momento se le llama **ruido de fondo**. Generalmente para el estudio de locales (estudios de grabación, salas de conferencias, aulas, teatros, etc.), se definen **los criterios del ruido de fondo**, o valores objetivo a alcanzar, de los recintos (niveles acústicos en el interior de tales locales en ausencia de la actividad en éstos desarrollada), no por un único valor global, sino mediante una serie de curvas que establecen una relación entre los niveles de presión sonora y las distintas frecuencias. Las más usadas son: Curvas NC, Curvas NR y Curvas PNC (cada una de las cuales poseen características peculiares en función de la frecuencia). Cada curva de estas posee varias clases, como se pueden ver las NC en el gráfico 2j que corresponden a los valores de la tabla 2.k.

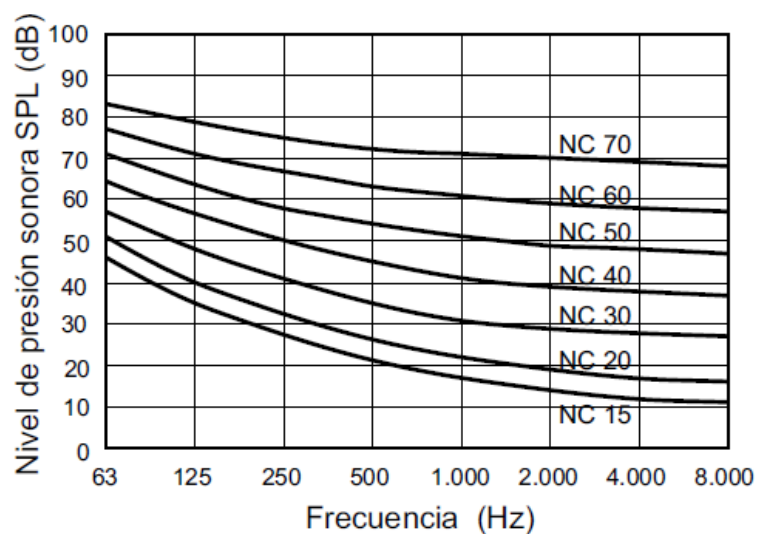


Gráfico 2.j. Curvas NC. Fuente [20] Carrión.

Frecuencia	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000	Hz
NC 15	47	36	29	22	17	14	12	11	dB
NC 20	51	40	33	26	22	19	17	16	dB
NC 25	54	44	37	31	27	24	22	21	dB
NC 30	57	48	41	35	31	29	28	27	dB
NC 35	60	52	45	40	36	34	33	32	dB
NC 40	64	57	50	45	41	39	38	37	dB
NC 45	67	60	54	49	46	44	43	42	dB
NC 50	71	64	58	54	51	49	48	47	dB

Tabla 2.k. Decibelios de las curvas NC según la frecuencia. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Para que se entienda, un determinado recinto cumple los requisitos de la curva NC-25 cuando, una vez medido el ruido de fondo en dicho local, cada uno de los niveles de presión sonora de las distintas bandas de octava entre 63 y 8.000 Hz se sitúan por debajo de los que indica la curva NC-25.

Dependiendo del local o edificio que se analice, así será la exigencia. Por ejemplo los estudios de grabación y de radio poseen exigencias mayores en relación a la limitación del ruido de fondo. Otros locales poseen otras exigencias tal y como puede verse en la tabla 2.I.

Nivel de ruido de fondo recomendado		
Recinto	Curva NC	Nivel Sonoro dB(A)
Estudios de grabación.	15	20 - 25
Salas de Conciertos, Auditorios, Teatros Ópera (sin grabaciones).	20	25 - 30
Habitaciones hospitalares	20	25 - 30
Teatros, Salas multiuso.	25	30 - 35
Salas de ensayo, Estudios de radio, platós TV., Aulas enseñanza musical.	25	30 - 35
Viviendas (dormitorios)	25	30 - 35
Salas de conferencias, aulas, cabinas de control.	30	35 - 40
Iglesias, Salones de actos,	30	35 - 40
Bibliotecas, Cines, Despachos, Museos.	30	35 - 40
Habitaciones hoteles.	30	35 - 40
Restaurantes, Balnearios.	35	40 - 45
Vestíbulos, Oficinas múltiples, Laboratorios, Salas de exposiciones.	35	40 - 45
Bares, Cafeterías, Centros comerciales, Estaciones, Piscinas, Discotecas, Polideportivos, Gimnasios.	40	45 - 50

Tabla 2.I. Aplicaciones de las distintas curvas NC. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

2.6 Propagación del sonido.

Cada fuente sonora se caracteriza por una potencia acústica irradiada. Si la fuente es pequeña respecto a la longitud de onda del sonido que irradia y, además, emite en todas direcciones, las ondas sonoras emitidas se propagan en el espacio libre a través de superficies esféricas concéntricas a la fuente, que van debilitándose en su amplitud conforme van alejándose del punto de origen: es lo que se llama **atenuación de la onda**. Aunque la amplitud de las ondas decrece, su longitud de onda y su frecuencia permanecen invariables, ya que éstas dependen sólo del foco emisor. La disminución de la amplitud viene cuantificada por la ley cuadrática inversa, que se refiere a los fenómenos físicos cuya intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia al centro donde se originan. Al doblar la distancia, el nivel de intensidad disminuye 6 dB por la relación de los logaritmos. Si estuviéramos en escala lineal, disminuiría la mitad de la intensidad, pero en escala logarítmica, hace que sólo disminuya 6 dB. Pero esto sucede solo en campo abierto.

Cuando una onda sonora alcanza un elemento situado en su recorrido, parte de ella se refleja y parte se absorbe, bien en energía disipada o bien en energía transmitida.

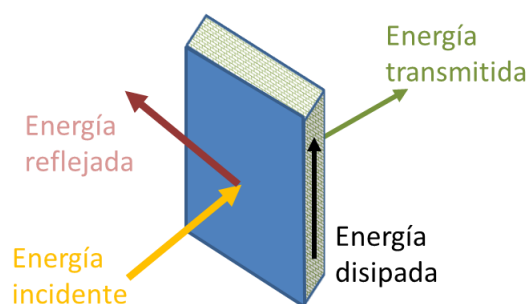


Figura 2.f. Encuentro de una onda con un elemento. Fuente: elaboración propia.

Si este elemento fuese un reflector perfecto, con su superficie impermeable al aire y totalmente rígida la energía reflejada sería igual a la incidente, pero en la práctica, esto no existe, ya que éste entra en vibración por efecto de la onda incidente o permite la propagación del sonido en el interior del material, si éste es poroso. Como consecuencia de cualquiera de estos procesos, las ondas reflejadas tendrán menos energía acústica que las incidentes, pues parte de la energía acústica es absorbida por la superficie. La energía total que incide sobre un elemento, pues, se reparte (figura 2.f) en una cantidad de energía reflejada, en una parte de energía disipada y, finalmente, en una cantidad de energía transmitida. Es decir, parte de la energía transportada pasa de un medio a otro.

Una fuente de sonido funcionando en un recinto, llega a un punto cualquiera con la energía directa de ella y, seguidamente, la de la primera onda reflejada, la de la segunda y, así, sucesivamente. Debido a la limitada aportación energética de las últimas reflexiones, la energía deja de aumentar después de cierto tiempo, alcanzando el recinto un **régimen constante**, que empieza a decrecer al parar la fuente.

Si nos centramos en la parte de onda que no se refleja, se produce una **transmisión** cuando parte de la energía sonora atraviesa un obstáculo (es ampliamente estudiada en el aislamiento acústico entre recintos), y **disipación** cuando esta queda se pierde en el elemento por rozamiento, siendo ése un fenómeno físico complejo que depende de múltiples factores como la temperatura, la presión atmosférica, la humedad, otras condiciones del entorno.

La suma de la energía transmitida y disipada se denomina energía absorbida y por lo tanto con la denominación de **absorción acústica** se hace referencia a la fracción de energía transmitida y disipada.

La **reflexión** se produce, pues, cuando una onda encuentra un obstáculo que no puede traspasar, por lo que vuelve al medio del que proviene.

Si la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad, la onda reflejada no solo sigue una dirección sino que se descompone en múltiples ondas, produciendo lo que denominados **difusión**.

La **refracción** es la desviación que sufren las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente, cambiando la velocidad de su propagación.

Difracción es el fenómeno que ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo de dimensiones menores a su longitud de onda, con lo que es capaz de rodearlo. Otra forma de difracción es la capacidad de las ondas de pasar por orificios cambiando su divergencia a esférica con foco en el centro de éstos.

La **reverberación** es un fenómeno que se produce con la reflexión del sonido, que consiste en la prolongación del mismo una vez que se ha extinguido el original, debido a las ondas reflejadas. Cuanto mayor es el recinto, mejor percibe el oído este retardo o ligera prolongación del sonido. Este es un aspecto muy importante de un recinto, y para determinarlo se utilizan una serie de parámetros físicos, uno de ellos es conocido como **tiempo de reverberación**, que es el tiempo que transcurre en determinado espacio cerrado desde que se produce un sonido hasta que la intensidad de ese sonido disminuye a una millonésima parte de su valor original. Esta magnitud influye en la **inteligibilidad**, que representa la capacidad de entender el mensaje oral que atraviesa determinado canal de transmisión (aire de un recinto). Es un concepto de gran importancia para espacios en los que predomina la emisión de la voz humana, y aunque se trata de una valoración subjetiva, existen diversos índices objetivos que se correlacionan bien con la apreciación subjetiva. La inteligibilidad de la palabra se refiere al conjunto de cualidades que ha de poseer el sonido que se recibe de un orador o sistema electro-acústico para que la comprensión de la información y mensaje que contiene sea óptima.

Como ya hemos apuntado el **sonómetro** es un instrumento electrónico que permite medir sonidos bajo unas condiciones rigurosamente prefijadas, de manera que los resultados obtenidos sean siempre objetivos y repetitivos, dentro de unos márgenes de tolerancia conocidos. Con objeto de que la medida realizada sea más representativa de la sonoridad asociada a un sonido cualquiera, los sonómetros incorporan la red de ponderación A. Los niveles de presión sonora medidos con esta ponderación se representan por " L_A " y se expresan en dB(A) ó dBA. Por eso, existen sonómetros que incorporan un conjunto de filtros eléctricos, que sólo dejan pasar aquellas frecuencias que están dentro de una banda determinada (habitualmente bandas de una octava). En muchos casos no es suficiente conocer el nivel de presión sonora total " L_p " y el nivel ponderado " L_A ", sino que es necesario disponer de información más detallada del espectro, es decir, de su contenido energético a distintas frecuencias (análisis frecuencial de la señal).

Existen dos tipos de sonómetros: los generales: que solo miden niveles de presión sonora, para medidas de poca precisión; y los integradores: que tienen la capacidad de poder calcular el nivel continuo equivalente " L_{eq} ". Incorporan funciones para la transmisión de datos al ordenador, cálculo de percentiles y análisis en frecuencia. A su vez los sonómetros pueden dividirse en tres tipos o clases según su precisión: tipo 0 (más preciso), tipo 1 y tipo 2. Necesitan de un calibrador antes y después de realizar una medida.

El primer sonómetro portátil de precisión del mundo data del año 1960, basado en transistores, cuyo diseño permitía medir, sujetar y manejarlo con una sola mano. Para la tecnología de la época y el limitado número de unidades fabricadas fue todo un logro. Hoy en día, existen muchas marcas de sonómetros en nuestro país, como: Brüel & Kjaer (marca de este primer sonómetro), Cesva, Alava

Ingenieros (Rion), Larson Davis, Norsonic, Svantek, Hibok, Tenmars, Extech, Quest Technologies, Delta OHM, Testo, Herter, etc.

2.6.1 Fenómenos acústicos influyentes.

Existen algunos fenómenos que también hay que tener en cuenta pues interfieren en la inteligibilidad, o sea, la capacidad de un oyente no solo de oír un mensaje en determinado recinto sino de entenderlo, que depende tanto de factores objetivos (ruido de fondo, tiempo de reverberación, distancia al orador, nivel y directividad de la voz), como de factores subjetivos (conocimiento del orador, su forma de hablar, palabras más comunes que utiliza).

2.6.1.1 Enmascaramiento del sonido.

En determinados momentos el oído está expuesto a dos o más sonidos simultáneos, por lo que existe la posibilidad de que uno de ellos enmascare al resto. El enmascaramiento es un efecto psicoacústico producido en la percepción sonora cuando se escuchan dos sonidos de diferente intensidad al mismo tiempo. Al suceder esto, el sonido más débil resulta inaudible ya que el cerebro sólo procesa el sonido enmascarador, produciéndose una modificación o desplazamiento del umbral de audibilidad en el receptor.

Por ejemplo, cuando dos personas están conversando y el sonido del tráfico impide que una escuche total o parcialmente lo que está diciendo la otra es porque el ruido del tráfico está enmascarando el sonido de la conversación. También puede darse en un concierto musical, cuando el sonido de un instrumento (o la suma de varios) impide percibir los sonidos que está produciendo otro instrumento musical. El efecto de los sonidos de carácter enmascarante puede ser positivo o negativo. Por ejemplo, en un auditorio, si el ruido de fondo provocado por la instalación de climatización enmascara el sonido de la orquesta, es desagradable, pero si ese mismo sonido continuo enmascara ruidos lejanos de tráfico exterior, ya no parece tan malo.

Esta imposición de un sonido sobre otro no es siempre por su intensidad, sino, a veces por un predominio de frecuencias.

2.6.1.2 Eco

Hemos visto que la reverberación prolonga el sonido. Si esta prolongación es grande se llama eco. Es un fenómeno que tiene lugar en ambientes amplios (exteriores o interiores), con superficies reflectoras. Se produce siempre que la reflexión retorna al punto donde se encuentra la fuente unos 100 ms. (o más) después de emitido el sonido. Se produce después de un tiempo "t" relacionado con la distancia "d" a la superficie más próxima por la expresión: $t = 2d / c$, donde "c" es la velocidad del sonido. El factor "2" se debe a que el sonido recorre ida y vuelta la distancia entre la fuente y la superficie reflectora. De ello, se deduce que para tener un eco, la superficie más próxima debe estar, como mínimo, a unos **17 m**.

Si se produce una repetición múltiple, en breve intervalo de tiempo, de un sonido generado por una fuente sonora se denomina eco flotante ("flutter echo"). Aparece cuando ésta se sitúa entre dos superficies cercanas, paralelas, de longitud importante, lisas, muy reflectantes al sonido. No hay que confundir ecos flotantes con ondas estacionarias. Lo único que tienen en común es que se forman por reflexiones sobre paramentos, pero los ecos no son estacionarios.

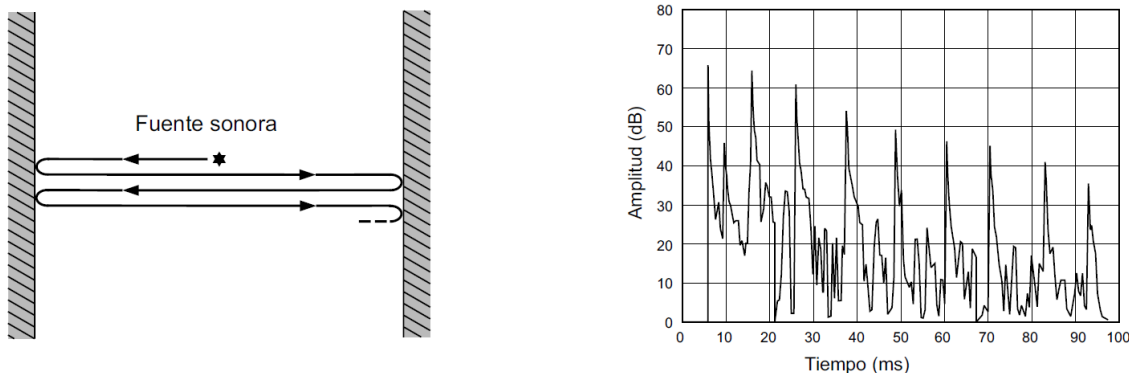


Figura 2.g. El eco flotante. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

2.6.2 Determinación del nivel de presión sonora en un punto.

Si consideramos una fuente sonora emitiendo de forma estacionaria en el interior de un recinto (figura 2.h), el nivel de presión sonora que existirá en un determinado punto, además de depender de la potencia de la fuente sonora y la distancia, también dependerá del área de absorción acústica del recinto (A):

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Ecuación 2.f

donde:

L_p = nivel de presión sonora en el punto considerado (dB).

L_w = nivel de potencia acústica de la fuente (dB)

Q= factor de directividad.

R= distancia al punto considerado de la fuente (m).

A= área absorbente del recinto (m^2).

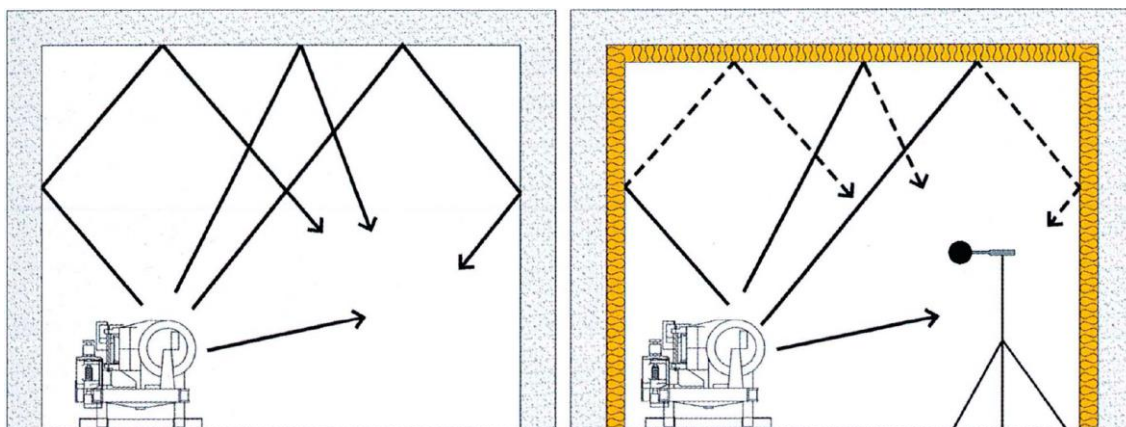


Figura 2.h. Fuente sonora emitiendo en el interior de un recinto. Fuente [2] Guía acústica.

Entonces, el nivel de presión sonora total vendrá determinado por la suma del nivel incidente de modo directo por la fuente (campo directo) y del nivel generado por las reflexiones del sonido sobre las superficies del recinto (campo reverberante).

En este sentido, al incrementar la absorción acústica del recinto se reduce el nivel de presión sonora total.

El valor del factor de directividad Q (tabla 2.m) depende del emplazamiento de la fuente acústica respecto a tabiques y forjados.

Situación de la fuente sonora en el recinto	Factor de directividad (Q)
En el centro del recinto, lejos de techo y paredes.	1
En una superficie: suelo, techo, partición.	2
En la arista de encuentro de dos paramentos.	4
En una esquina o rincón.	8

Tabla 2.m. Factores de directividad. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

El determinar el nivel de presión sonora en un punto es clave para calcular el tiempo de reverberación de un recinto.

3. EL SONIDO EN EL INTERIOR DE RECINTOS.

A continuación vamos a poner en orden todos los conceptos vistos anteriormente para entender la fenomenología del sonido dentro de los recintos. Una fuente sonora situada en un recinto genera una onda que se propaga en todas las direcciones del espacio. Un oyente ubicado en un punto cualquiera del mismo recibe dos tipos de sonido: el denominado sonido directo, es decir, aquél que le llega directamente desde la fuente sin ningún tipo de interferencia, y el sonido indirecto o reflejado, originado como consecuencia de las diferentes reflexiones que sufre la onda sonora al incidir sobre las superficies límites del recinto.

La fuente sonora se considera omnidireccional en campo abierto, es decir, una fuente que radia energía de manera uniforme en todas las direcciones. Esto implica que a una distancia cualquiera de la fuente, el nivel de presión sonora será siempre el mismo, con independencia de la dirección de propagación considerada. Es lo que se llama propagación esférica. A medida que uno se aleja de la fuente, la energía se reparte sobre una esfera cada vez mayor, por lo que el nivel en cada punto va disminuyendo progresivamente, en concreto 6 dB cada vez que se dobla la distancia a la fuente. En el medio ambiente exterior, donde el sonido se propaga libremente sin que se produzcan reflexiones, sólo existe la componente del **campo directo**. Por ello, el nivel de presión sonora disminuye rápidamente con la distancia. En un ambiente cerrado, en cambio, muy cerca de la fuente predomina el campo directo, pero a cierta distancia predomina el **campo reverberante**, que es al que se debe que dentro de una sala los sonidos se perciban con mayor sonoridad que en el exterior, ya que, en un volumen cerrado, el sonido se ve reforzado por el campo reverberante, que acumula la energía no absorbida en las reflexiones. En el exterior, al no existir éstas, la energía sonora simplemente se aleja continuamente de la fuente, sin posibilidad de acumularse.

Una característica del campo directo es que es bastante direccional, mientras que el campo reverberante es difuso, es decir omnidireccional.

Tal y como podemos ver en la figura 3.a, existe una distancia denominada "crítica" que limita las regiones en las que predomina uno u otro campo. El campo directo predomina para distancias menores que la distancia crítica, y para mayores, predomina el reverberante. Se denomina, pues, **distancia crítica (r_c)** a la distancia a la fuente sonora en que el nivel de presión sonora directo es igual al nivel de presión sonora reverberado.

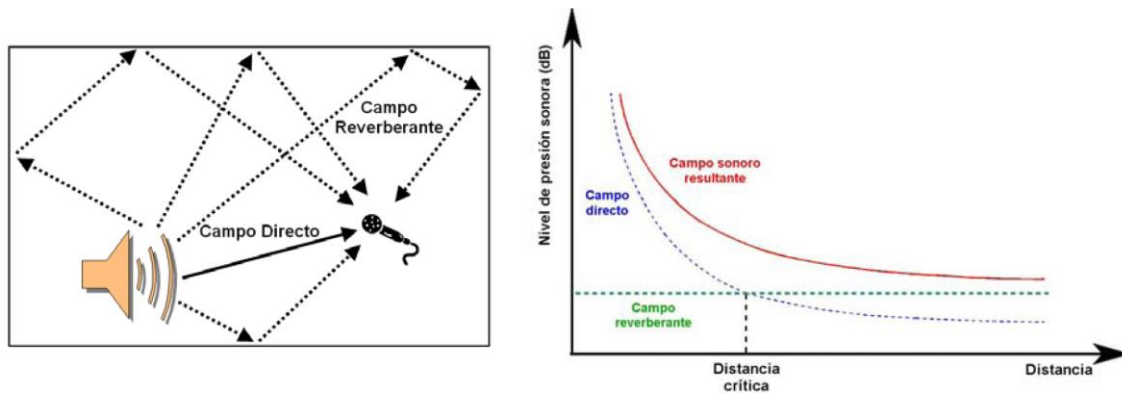


Figura 3.a. Campos sonoros. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

El campo reverberante lo origina el **sonido indirecto**, que es todo lo que no es sonido directo, es decir, el resultado de las múltiples reflexiones y difracciones que las paredes, techo, suelo y distintos objetos presentes en un recinto le producen al sonido directo. Existen dos tipos de sonido indirecto:

- a) **Sonido temprano:** es el formado por el primer grupo de reflexiones que experimenta el sonido directo, alcanzando al oyente transcurridos hasta unos 60-100 ms. desde su producción.
- b) **Sonido reverberante:** es el captado tras las reflexiones tempranas. Proviene de todas direcciones, percibiendo un volumen (amplitud de la onda) y una consistencia mayores. En caso de que la fuente emita un sonido continuo, el sonido reverberante crece hasta que alcanza un nivel de equilibrio (régimen constante). Cuando la fuente se interrumpe, el nivel decrece más o menos constantemente hasta anularse.

Así, cuando se analice la evolución temporal del sonido reflejado en un punto cualquiera de un volumen, se observarán básicamente dos zonas de características diferenciadas: una primera zona que engloba todas aquellas reflexiones que llegan inmediatamente después del sonido directo, y que reciben el nombre de primeras reflexiones o reflexiones tempranas, y una segunda, formada por reflexiones tardías, que constituyen la denominada **cola reverberante**.

Podemos entender bien la naturaleza del sonido indirecto a través del modelo de rayos (como los lumínicos): considerando que el sonido sale de la fuente a lo largo de rayos divergentes, estos son parcialmente absorbidos y reflejados en cada impacto con los paramentos perimetrales del recinto, y, después de un gran número de reflexiones, el sonido se hace difuso; la densidad promedio de energía es la misma en todo el local y todas las direcciones de propagación son igualmente probables.

La distancia a la fuente sonora es de lo que exclusivamente depende la energía correspondiente al sonido directo, mientras que la energía asociada a cada reflexión depende del camino recorrido por el rayo sonoro, así como del grado de absorción de los materiales usados como revestimiento de las superficies. Lógicamente cuanto mayor sea la distancia recorrida y más absorbentes sean los materiales empleados, menor será la energía asociada a las sucesivas reflexiones.

La representación gráfica en el tiempo de la llegada de las reflexiones acompañadas de su nivel energético correspondiente, se denomina **ecograma o reflectograma**. En la figura 3.b se representa

de forma esquemática la llegada de los diferentes rayos sonoros a un receptor junto con el ecograma asociado, con indicación del sonido directo, la zona de primeras reflexiones y la zona de reflexiones tardías (cola reverberante).

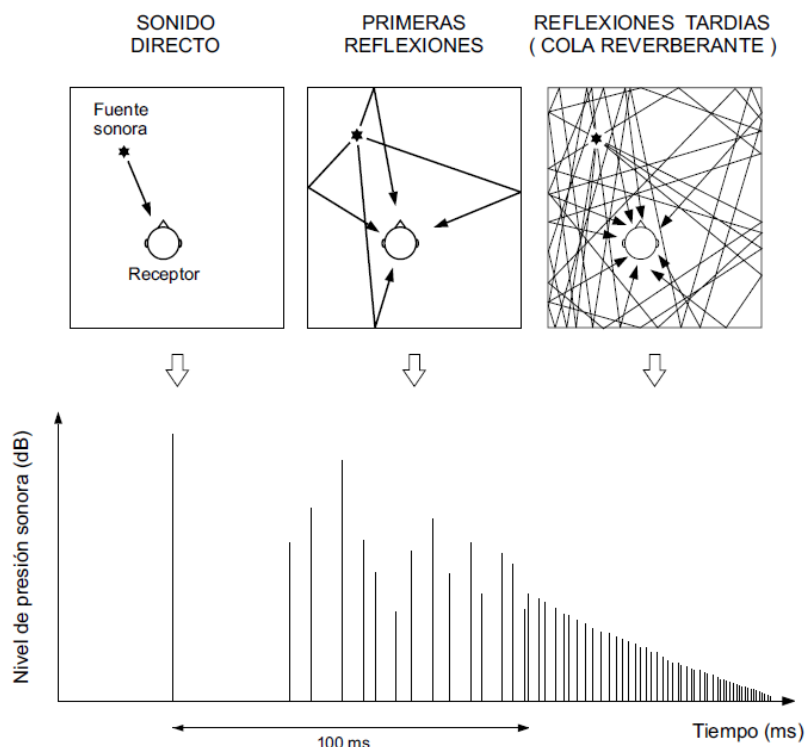


Figura 3.b. Ecograma o reflectograma. Fuente [3] *Acústica aplicada al interiorismo*.

Las primeras reflexiones presentan un nivel energético mayor que las correspondientes a la cola reverberante, ya que son de orden más bajo. Además dependen directamente de las formas geométricas de la sala y son específicas de cada punto, lo que va a determinar las características acústicas propias de la misma, juntamente con el sonido directo.

Para calcular el ecograma asociado a un punto cualquiera se consideran las reflexiones de los rayos sonoros como las de rayos de luz, es decir, considerando que estas son totalmente especulares y que, por tanto, verifican la ley de la reflexión. El análisis acústico basado en la hipótesis de reflexiones especulares constituye la base de la denominada **Acústica Geométrica**. Este análisis es solo una aproximación a la realidad, pues la hipótesis de reflexión especular no siempre se da, ya que entre otras cosas las superficies no son perfectas, además si esta presenta irregularidades de dimensiones comparables con la longitud de onda, se produce una reflexión de la onda incidente en múltiples direcciones, es decir, una **difusión del sonido**, lo que alteraría totalmente la hipótesis.

Las reflexiones que llegan al oyente dentro de los primeros 50 ms. desde la llegada del sonido directo son integradas por el oído y, por tanto, su percepción no es diferenciada respecto al sonido directo. Cuando el sonido es la voz humana, tales reflexiones contribuyen a mejorar la inteligibilidad o comprensión del mensaje y, al mismo tiempo, producen un aumento de sonoridad (o sensación de amplitud del sonido). Pero si el retardo es superior a este tiempo no contribuyen a una buena inteligibilidad de la palabra, ya que es percibida como repetición del sonido directo, aunque para la

música puede ser aun favorable, a no ser que el retardo sea excesivo (más de 100 ms), en tal caso, dicha reflexión pasa a ser el eco.

3.1 La reverberación.

Ya se ha definido este concepto con anterioridad. Ahora vamos a ver la manera en que nos afecta al sonido en el interior de los recintos. Entenderemos bien los sonidos mientras el oído perciba como una única sensación sonora el sonido directo y las reflexiones tempranas, pero si éstas reflexiones tardan mucho en alcanzar al oyente el oído no es capaz de sumarlas al sonido directo, y se interpretan como un nuevo sonido. Es, por tanto, necesario que exista cierta **absorción** en el medio en las superficies de salas grandes para que la amplitud de energía acústica no crezca indefinidamente. En **recintos vivos** o reverberantes, en donde la absorción total es baja, pasa un tiempo considerable antes de que el sonido, alcance la amplitud final, significativamente mayor que la inicial. Esto posibilita la aplicación de la teoría de rayos. Las reflexiones producen una distribución de energía sonora que se vuelve más uniforme conforme pasa el tiempo.

El control de la reverberación para la mejora de las cualidades de inteligibilidad es la base del **acondicionamiento acústico** de un local con el objeto de controlar la energía sonora reflejada en las paredes del mismo. Esto se consigue estudiando las geometrías espaciales (forma en planta, altura, dimensiones y relación entre ellas) y tratando las superficies interiores. Este estudio es fundamental en la construcción y restauración de recintos donde se necesita una buena inteligibilidad de la palabra o una buena audición de la música para su normal funcionamiento, aunque también debe realizarse, no tan en profundidad, en otros muchos como puede ser el caso de bares y restaurantes. También conviene destacar que existen espacios en los que se requieren aplicar, a la vez, soluciones importantes de aislamiento (por ejemplo, una sala de maquinaria, una vivienda, una habitación de hospital o de hotel).

Para el estudio de la reverberación y la realización de experimentos se construyen **cámaras reverberantes** (Francisco Arrebola [7]). Estas, tal y como hemos visto hasta ahora, favorecen la reflexión del sonido, intentando que sus paramentos ofrezcan la menor resistencia y absorción al mismo para que este se desplace lo máximo posible.

En nuestro caso no vamos a tener el problema de que haya mucha distancia entre el emisor y el receptor. Pero sí tendremos varios emisores dentro de un mismo local, lo que nos obligará a que sus sonidos no se entremezclen, o sea, evitar el enmascaramiento. Para ello es fundamental dotar de la suficiente absorción al local, tal como desarrollaremos más adelante.

Y aunque por la proximidad de las fuentes estuviésemos pensando en que la mejor solución sería suprimir toda reverberación posible y basar la inteligibilidad en el sonido directo, esto sería también erróneo. En el punto siguiente se explica el por qué.

3.1.1 La cámara anecoica.

Una **cámara anecoica o anecoide** (figura 3.c) es una sala diseñada para absorber en su totalidad las reflexiones producidas por ondas acústicas o electromagnéticas en cualquiera de las superficies que la conforman (suelo, techo y paredes laterales). A su vez, la cámara se encuentra aislada del exterior de cualquier fuente de ruido o influencia sonora externa. La combinación de estos dos factores implica que la sala emula las condiciones acústicas que se darían en un campo libre, ajeno a cualquier tipo de efecto o influencia de la habitación fruto de dichas reflexiones.



Figura 3.c. Cámara anecoica. Fuente: diario ABC, Ciencia de 19/02/2012.

En una noticia extraída en el diario ABC del 19/06/2012 explicaba:

“Demasiado silencio puede volver loco a una persona. Es una de las conclusiones de los científicos que han comprobado los efectos de pasar un tiempo dentro de la cámara anecoica que fue creada por los Laboratorios Orfield en Minnesota (Estados Unidos). Esta cámara absorbe el 99,99% de los sonidos gracias a un sistema basado en un 'box in box' donde ambas cajas poseen tabiques dobles de acero y la caja interior está apoyada en un sistema de resortes con sus paredes recubiertas con cuñas de fibra de vidrio de forma piramidal”.

Es por esto que tendremos que equilibrar la absorción del sonido y la reflexión para crear un buen confort acústico aunque se trate simplemente de una conversación.

3.1.2 La resonancia.

Los términos **reverberación y resonancia** se usan, a veces, de manera errónea, confundiéndose ya que explican fenómenos diferentes. Resonancia se refiere a la capacidad de vibrar que tiene un objeto, la forma en la que la onda sonora incidente provoca una vibración. Todos los cuerpos tienen una "frecuencia de resonancia".

Un caso llamativo es el de que si sometes a un cuerpo a una vibración con la frecuencia de resonancia de dicho cuerpo, puedes provocar la ruptura o el colapso de este. Es conocida la ruptura

de una copa con la voz, produciéndose cuando un cantante hace coincidir una nota musical de su canto con la frecuencia de resonancia del cristal. La vibración resultante de la copa puede tener la suficiente amplitud como para superar el límite elástico del cristal y romperlo. Este fenómeno es también el motivo por el cual un ejército al cruzar un puente rompe filas. Si toda la tropa lo cruza al mismo paso y coincidiese el ritmo de los pasos con la frecuencia de resonancia del puente podría provocar oscilaciones de la suficiente amplitud como para derrumbarlo.

3.2 Estudio acústico del recinto.

Higini Arau, en su obra *ABC de la acústica arquitectónica* [4] plantea 3 tipos de estudio de la Acústica:

- a) **La acústica geométrica**, en la que se asocia un rayo de propagación a una onda sonora en determinado recinto. Para que las leyes de la reflexión se cumplan, las longitudes de onda del sonido deben ser pequeñas en comparación a las dimensiones de la sala y los objetos en su interior (para evitar que se produzcan fenómenos de difracción), y el poder de absorción de los paramentos limítrofes debe ser bajo.
Esta simplificación o adaptación a los fenómenos ópticos permite suponer que una fuente sonora colocada cerca de un plano reflector creará una fuente imagen a igual distancia del plano, de forma simétrica.
- b) **La acústica estadística**, que tiene en cuenta todos los rayos sonoros presentes en determinado espacio y sus características de extinción, que determinan el tiempo de reverberación.
- c) **La acústica ondulatoria**, que considera el carácter ondulatorio del sonido (lo que no hacen todas las anteriores).

En la acústica geométrica se estudia cómo se refleja la onda en función de la superficie en la que incide. En la figura 3.d vemos las reflexiones que provocan distintos tipos de superficie a los rayos sonoros incidentes emitidos por la fuente S, según la forma del paramento:

- a) Las superficies planas actúan como espejos.
- b) Las superficies cóncavas concentran el sonido en la posición S'.
- c) Las superficies convexas dispersan el sonido, lo reflejan en haces divergentes.
- d) Las superficies rugosas hacen que el sonido se difunda en distintas direcciones.

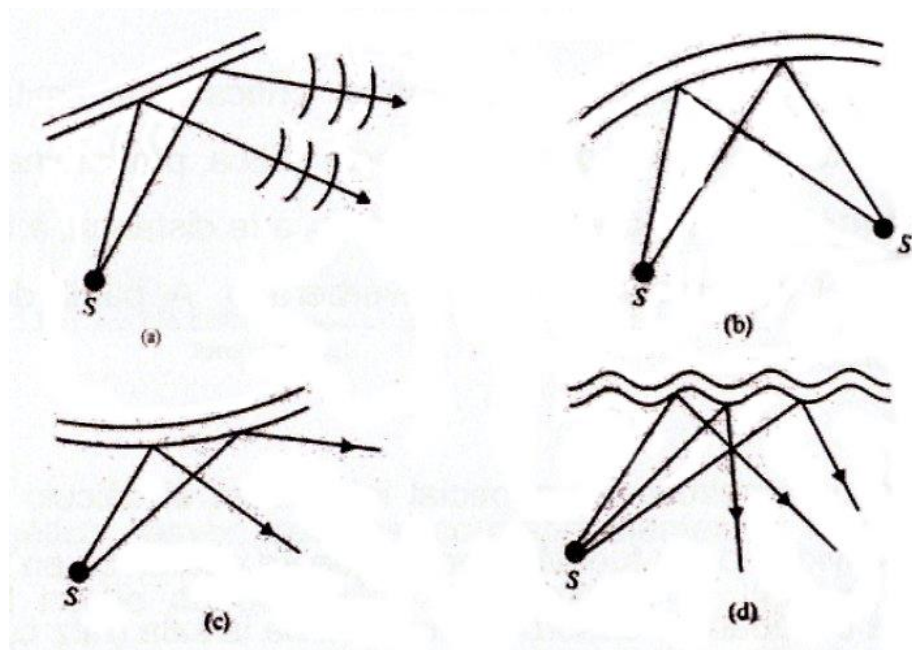


Figura 3.d. Reflexiones de la onda sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Podemos resumir las geometrías que influyen en la emisión sonora en dos formas básicas: **Formas curvas**, que si son cóncavas, concentran el sonido en los centros de curvatura, pero la focalización solo se manifiesta en el caso de que el emisor y receptor se desplacen cerca del foco (real o virtual), y si son convexas, aumentan la difusión sonora, o sea, la reflexión de los rayos en múltiples direcciones del espacio, y **formas planas**, cuyo uso puede crear problemas o solucionarlos. La reflexión en ellas es especular (en una única dirección). Reflectoras al sonido y colocadas cercanas y paralelas, crean anomalías que afectan a la inteligibilidad (recuérdese el "flutter echo" definido en el apartado 2.6.1.2). Por ejemplo los pasillos o locales estrechos con dos planos verticales paralelos enfrentados. Pero sus consecuencias no se dan solo en espacios cerrados: estas superficies podrían ser los planos de fachadas alineadas paralelas, en calles estrechas que soportan altos niveles de ruido ambiental.

Pero estas superficies también sirven para dirigir las ondas sonoras a donde se necesitan. Son los denominados **planos ortofónicos**, comunes en salas de conciertos o locales de ensayo. Son elementos de material duro rígido (madera, escayola), poco flexibles, que colocados con una eficaz inclinación y ubicación respecto a las fuentes sonoras, crean reflexiones que contribuyen a mejorar la acústica. Sus dimensiones también influyen, porque las frecuencias bajas (de longitud de onda larga) no se verán reflejadas si estos paños son pequeños en proporción con la longitud de onda.

3.2.1 Galería de los susurros.

Una superficie reflectante en forma circular o abovedada produce el efecto de galería de los susurros cuando incide sobre ella rayos sonoros emitidos por una fuente situada en un punto de la curvatura. Las reflexiones sucesivas quedan confinadas dentro de un anillo, es decir, se produce una concentración del sonido en todos los puntos situados dentro del mismo. El sonido viaja hasta llegar a

un extremo opuesto, perdiendo poca energía (sobre todo, a frecuencias altas) en el trayecto. Por el camino más recto, esta energía no llega con la misma claridad. Se dan en salas de planta circular o con cúpulas.

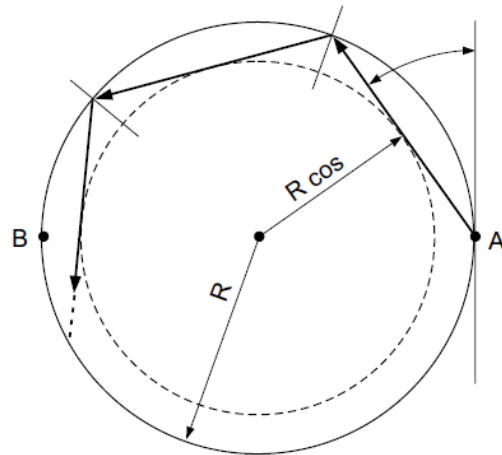


Figura 3.e. Reflexión en la galería de los susurros. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Existe otro fenómeno parecido con las **salas de secretos**, que son espacios en los que el sonido va de un punto a otro (único punto en el que se oye), reflejándose sobre superficies poco absorbentes. Corresponden a formas elípticas en planta o sección.

3.3 Difusión sonora.

Dentro de un volumen confinado por superficies, estas van a influir directamente en la difusión característica del local. La producción del sonido difuso es muy importante sobre todo en los locales acústicos. En bares y restaurantes no tanto pues para la inteligibilidad del mensaje es suficiente el sonido directo. La difusión sonora depende directamente del sonido indirecto, pues con el sonido directo es imposible crear una buena difusión. La base de esta es dividir la onda sonora en múltiples ondas en cada reflexión, equiparando el nivel sonoro de toda la sala, y que este pierda intensidad gradualmente con el tiempo, como puede verse en el gráfico 3.a. En esto va a ser determinante la superficie que limita el local, tal y como hemos visto.

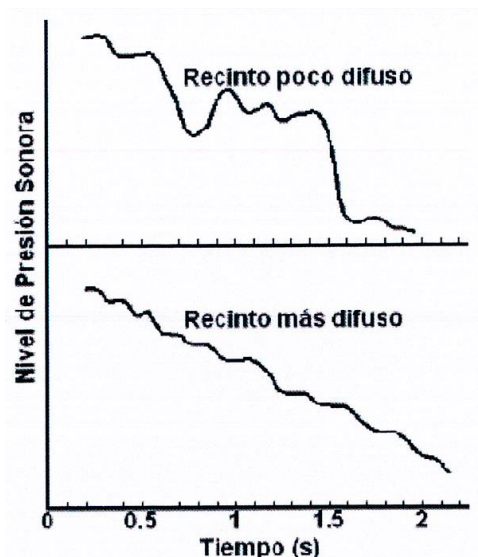


Gráfico 3.a. NSP de un recinto en el tiempo. Fuente [3] *Acústica aplicada al interiorismo*.

El sonido indirecto está íntimamente relacionado con los tiempos de reverberación. Así es que si el retardo de las reflexiones sobrepasa unos límites, estas pasarían a ser perjudiciales en vez de mejorar.

En el gráfico 3.b se muestran las 4 zonas características dependientes del retardo del sonido y de la inteligibilidad de este. En el eje de abscisas se indica el retardo temporal del sonido reflejado con respecto al sonido directo, mientras que en el eje de ordenadas aparece la diferencia de niveles entre los sonidos.

- a) **Zona A.** La reflexión llega antes de los 50 ms: el oído integra la reflexión, produciéndose aumento de inteligibilidad y sonoridad.
- b) **Zona B.** La reflexión llega antes de los 50 ms, si bien con un nivel relativo más elevado: el oído integra la reflexión, pero se produce un desplazamiento de localización de la fuente sonora, hacia la superficie generadora de la reflexión.
- c) **Zona C.** La reflexión llega después de los 50 ms: la reflexión no es perjudicial para la inteligibilidad debido a que su nivel relativo es suficientemente bajo.
- d) **Zona D.** La reflexión llega después de los 50 ms, si bien con un nivel relativo más elevado: la reflexión es percibida como un eco y se produce una pérdida de inteligibilidad.

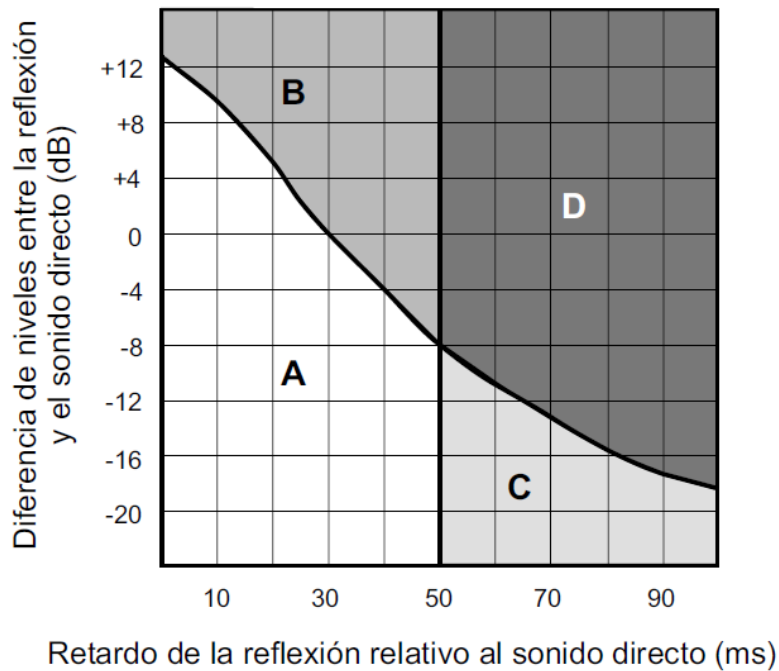


Gráfico 3.b. Zonas acústicas según retardo de la reflexión. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

3.4 La absorción.

Recordemos que la presión acústica que existe en un punto determinado de un recinto, después de haberse producido varias reflexiones del sonido, es la resultante de la presión del campo directo (ondas propagadas desde la fuente sin chocar) y del campo reverberado (ondas que han chocado una o varias veces contra las superficies que limitan el local).

Dicha reflexión depende en gran medida de la absorción acústica de las superficies del local y del aire contenido en él. Retomando la ecuación 2.f para calcular el nivel de presión sonora en un punto y considerando la fuente sonora en el centro del recinto, lejos de techo y paredes, por lo que el valor de Q será igual a 1 (tabla 2.m), tendríamos:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Ecuación 3.a

donde:

L_p = nivel de presión sonora en el punto considerado (dB).

L_w = nivel de potencia acústica de la fuente (dB).

r = distancia del punto considerado a la fuente (m).

A = área absorbente del recinto (m^2).

El término " $4/A$ " define la reducción del nivel de presión acústica en el campo reverberado, y que, lógicamente, estará en función del área absorbente del local. La absorción acústica es la disminución de la energía acústica en un recinto, disipada en energía calorífica al ser absorbida por el medio que atraviesa y transmitida a través del paramento. Esta pérdida de energía se debe a la absorción del

aire, a la de los revestimientos (caracterizados por un coeficiente de absorción), objetos, mobiliario y a las personas.

El tipo de material del paramento, su forma, el espesor, el método de montaje, así como del ángulo de incidencia y de la frecuencia de la onda acústica incidente determinará la cantidad de energía absorbida por él. La eficiencia de la absorción de una superficie se define por un coeficiente de absorción “ α ” que es una magnitud adimensional, definida como el cociente entre la energía absorbida y la energía total incidente.

$$\alpha = \frac{\text{Energía Absorbida}}{\text{Energía Incidente}}$$

Ecuación 3.b

El coeficiente de absorción varía con la frecuencia, lo que obliga a que cada material disponga de una curva de los valores de este coeficiente (gráfico 3.c), obtenidos de ensayos en cámaras normalizadas reverberantes o en tubos de ondas estacionarias o de impedancia. La variación del ángulo de incidencia supone una dificultad añadida más ya que el sonido generalmente presenta un carácter totalmente difuso, es decir, la energía acústica incide sobre el material desde todas las direcciones posibles, con la misma intensidad. En estos casos se debe definir un coeficiente de absorción de tipo estadístico o de incidencia aleatoria. Todo esto se verá en más profundidad en el apartado de estudio de materiales.

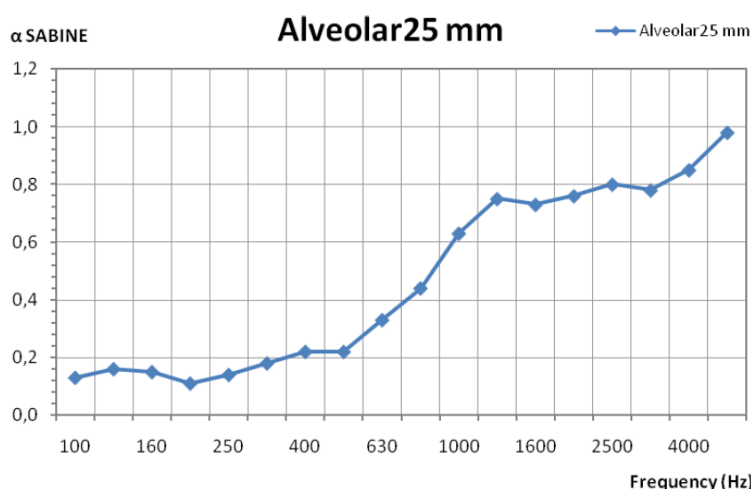


Gráfico 3.c. Curva del coeficiente de absorción según frecuencia de un material absorbente (de nombre alveolar de 25 mm de espesor). Fuente: www.metrasoni.es

Pero estos materiales absorbentes no solo ocupan cada una de las superficies que delimita el volumen del recinto, sino también cada objeto o mobiliario que pudiera contener y también hay que tener en cuenta la absorción del aire.

Así, la formula completa, tal y como se muestra en el apartado 3.2.2 del Documento Básico “Protección frente al ruido” [N1], sería:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$$

Ecuación 3.c

donde:

$\alpha_{m,i}$ = coeficiente de absorción acústica medio de cada paramento, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1.000 y 2.000 Hz.

S_i = área de paramento cuyo coeficiente de absorción es α_i , (m^2).

$A_{O,m,j}$ = área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente (m^2).

V = volumen del *recinto* (m^3).

m_m = coeficiente de absorción acústica medio en el aire, para las frecuencias de 500, 1.000 y 2.000 Hz y de valor $0,006 m^{-1}$.

El término $4 m_m V$ es despreciable en los *recintos* de volumen menor que $250 m^3$.

El concepto del área de absorción acústica de los objetos, A_O , en m^2 , hay que entenderlo como la absorción de una superficie con coeficiente de absorción acústica igual que 1, pero con área igual a la absorción total del elemento. Este índice se utiliza, normalmente, para mobiliario fijo (butacas fijas de aulas, auditorios, teatros y salas de conferencias).

La absorción del aire se engloba en el término $4 \cdot m_m \cdot V$, y es despreciable en recintos de $V < 250 m^3$.

En el gráfico 3.d se pueden sacar valores de $4 \cdot m_m$, en condiciones normales de presión y temperatura ($P_0=105 kPa$ y $20^\circ C$), para cada frecuencia y humedad relativa del aire.

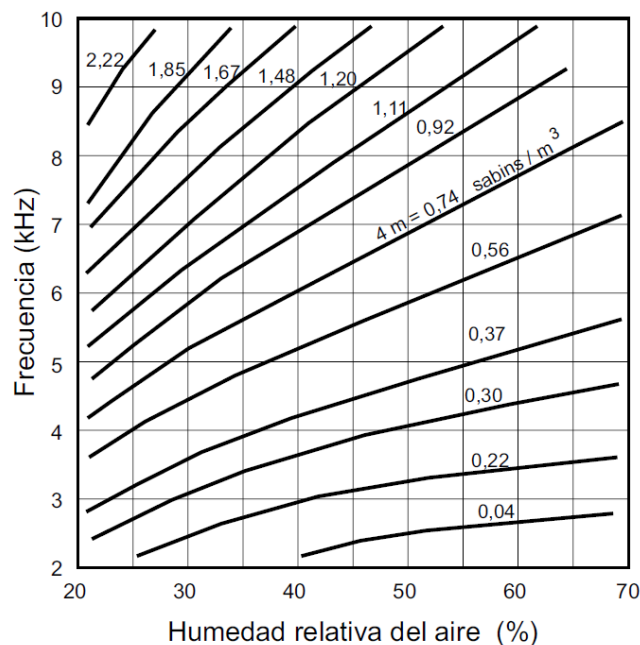


Gráfico 3.d. Valores de $4m_m$ en condiciones normales de presión y temperatura. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo

3.5 El tiempo de reverberación.

Se define el Tiempo de Reverberación (T_r) como el tiempo necesario para que la intensidad acústica de un sonido en régimen constante se reduzca a una millonésima de su valor inicial, contado a partir del instante en que la fuente deja de emitir. Esto es equivalente a considerar una reducción de 60 dB en el nivel de presión sonora dentro del recinto.

Subjetivamente, se entiende como el tiempo de persistencia del sonido en el recinto hasta hacerse inaudible. Es el indicador acústico más representativo del comportamiento de un recinto, al ser el más expresivo en términos globales y del que dependen otros factores. Es indicativo de la "viveza" de determinado espacio, que es precisamente la prolongación del sonido.

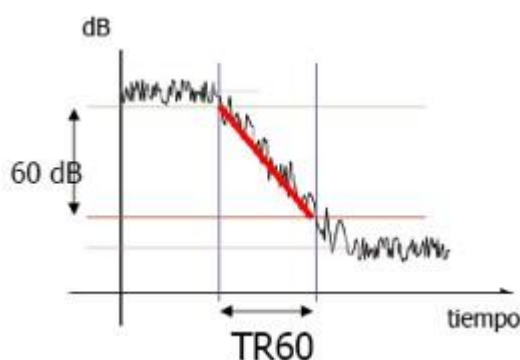


Gráfico 3.e. Tiempo de reverberación. Fuente [3] *Acústica aplicada al interiorismo*

Cuanto mayor es el volumen de un recinto, mayores son sus tiempos de reverberación, debido a que las ondas sonoras recorren caminos más largos y tardan más tiempo en reflejarse y llegar al receptor.

3.5.1 Cálculo del tiempo de reverberación.

La fórmula utilizada por el DB "Protección frente al ruido" del CTE [N1] es la de Sabine, aunque existen otros autores con otras fórmulas fruto de sus estudios. La elección de esta dependerá de las características del espacio en concreto a estudiar. En su obra "Acústica aplicada al interiorismo" [3] Santiago Valero Granados destaca las características concretas de algunas de estas, tal y como se citan a continuación. Todas ellas parten de la distribución uniforme y difusa de la energía sonora en todos los puntos del recinto, igual probabilidad de propagación del sonido en todas las direcciones y absorción sonora constante, excepto la de Arau-Puchades, que es capaz de considerar una distribución asimétrica del sonido

a) Fórmula de **Sabine**:

Reparto homogéneo de absorción, con materiales de bajo coeficiente de absorción (el $\alpha_m < 0,25$).

Valores de coeficientes de absorción que no ofrecen mucha garantía.

En estudios previos y en general cuando no se requiera mucha exactitud.

Cámaras reverberantes.

$$Tr = \frac{0.16 \cdot V}{A}$$

Ecuación 3.d

donde:

Tr= tiempo de reverberación (s).

V= volumen del recinto (m³).

A= área de absorbente acústica equivalente del recinto (m²).

b) Fórmula de **Norris-Eyring**:

Reparto homogéneo de absorción y superficies con coeficientes de absorción parecidos.

Valores de coeficientes de absorción exactos (documentación técnica de laboratorio).

Para estudios que requieran más precisión.

Cámaras sordas.

$$Tr = \frac{-0,16 \cdot V}{[S_t \cdot \ln(1 - \alpha_m)]}$$

Ecuación 3.e

donde:

Tr= tiempo de reverberación (s).

V= volumen del recinto (m³).

S_t= superficie total de paramentos (m²).

α_m = coeficiente de absorción media, $\alpha_m = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n}{S_t}$

c) Fórmula de **Millington-Sette**:

Distribución no uniforme de la absorción.

Superficies de absorción grandes sin que ninguna sea altamente absorbente (α_m < 0,75).

Valores de coeficientes de absorción exactos (documentación técnica de laboratorio).

Para estudios más precisos.

$$Tr = \frac{-0,162 V}{S_1 \ln(1 - \alpha_1) + S_2 \ln(1 - \alpha_2) + \dots + S_n \ln(1 - \alpha_n)}$$

Ecuación 3.f

donde:

V = volumen del recinto (m³).

S_i = superficie del paramento *i*, donde *i* varía desde 1 a *n* (m²).

α_i = coeficiente de absorción del paramento *i*, donde *i* varía de 1 a *n*.

En igualdad de condiciones, los valores que se calculan de Tr son menores en Millington que en Eyring.

d) Pero la fórmula de **Arau-Puchades**, más reciente, es capaz de calcular el Tr considerando que exista una distribución asimétrica de la absorción en una sala.

$$Tr = \left[\frac{0,162 V}{-S_t \ln(1 - \alpha_{m,x})} \right]^{\frac{S_x}{S_t}} \left[\frac{0,162 V}{-S_t \ln(1 - \alpha_{m,y})} \right]^{\frac{S_y}{S_t}} \left[\frac{0,162 V}{-S_t \ln(1 - \alpha_{m,z})} \right]^{\frac{S_z}{S_t}}$$

Ecuación 3.g

donde:

V = volumen del recinto (m^3).

S_t = superficie total de paramentos (m^2).

S_x = superficie de techo y suelo (m^2).

S_y = superficie de la paredes laterales (m^2).

S_z = superficie de la pared frontal y del fondo (m^2).

$\alpha_{m,x}$ = coeficiente de absorción medio de la superficie S_x .

$\alpha_{m,y}$ = coeficiente de absorción medio de la superficie S_y .

$\alpha_{m,z}$ = coeficiente de absorción medio de la superficie S_z .

3.5.2 Valores óptimos del tiempo de reverberación.

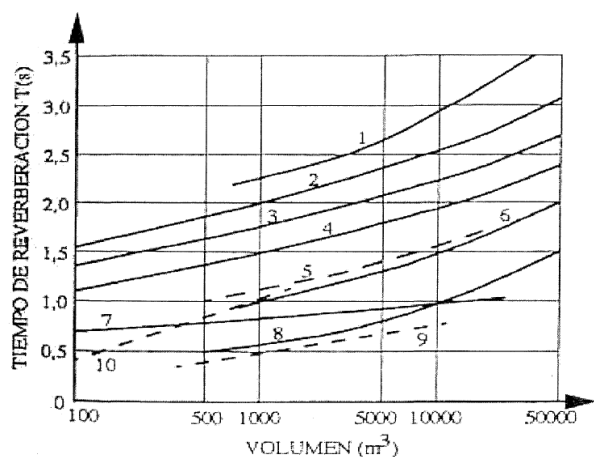
Para un recinto concreto y para un volumen determinado, el tiempo de reverberación medio Tr_{mid} debe estar entre un valor máximo y un valor mínimo, determinados según el uso al que va a ser destinado dicho local (o para la actividad predominante, en los casos de salas multiusos). Los valores intermedios serán los óptimos para ese recinto en concreto y para la actividad que se va a desarrollar en él. Este depende directamente de las características del local (geometría, volumen), del uso y también de la naturaleza de la fuente sonora (instrumento musical, palabra, altavoz).

Por ejemplo, cuando se trata de salas destinadas a la palabra, es conveniente que los valores de Tr_{mid} sean más bajos con objeto de conseguir una buena inteligibilidad, mientras que para salas de conciertos son recomendables unos valores más elevados, a fin de que la audición musical resulte óptima.

Para que el tiempo de reverberación medio (Tr_{mid}) sea tan solo un valor se realiza la media aritmética de los valores correspondientes a las bandas centrales de 500, 1.000 Y 2.000 Hz, aunque, en recintos de acústica exigente, los valores deberían darse en un rango más amplio del espectro de frecuencias.

Debe considerarse, pues, que el término reverberación óptima incluye no sólo el valor del tiempo en función de la frecuencia, sino también la forma óptima de crecimiento y caída del sonido, es decir la pendiente de la curva en la gama del espectro. A este espectro típico de reverberación se le conoce con el nombre de "curva tonal".

Numerosos expertos han hecho estudios para determinar el tiempo de reverberación óptimo de cada tipo de sala según su uso. Se ha comprobado que aumenta proporcionalmente al incrementar el volumen de la sala. En el gráfico 3.f se muestra la conclusión de unos de estos estudios para diferentes volúmenes y actividades. Debe aclararse que no hay coincidencia exacta entre los resultados presentados por diversos investigadores, aunque sí resultan similares.



1. música religiosa.
2. salas de concierto para música orquestal.
3. salas de concierto para música ligera.
4. estudios de concierto.
5. salas de baile.
6. teatros de ópera.
7. auditorios de la palabra.
8. cines y salas de conferencias.
9. estudios de televisión.
10. emisoras de radio.

Gráfico 3.f. Curva tonal de tiempos de reverberación óptimos para distintos usos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Se deduce de estos estudios que **la palabra requiere menores tiempos de reverberación** que la música, debido a que la parte más significativa de la palabra son las consonantes, que son a la vez débiles y más cortas que las vocales (tabla 3.a). Esto hace que si el tiempo de reverberación es alto, las vocales se prolongan demasiado, enmascarando a las consonantes que les siguen, lo que reduce la inteligibilidad de la palabra. En la música pasa justo lo contrario, se beneficia con un tiempo de reverberación considerable, ya que éste permite empalmar mejor los sonidos y disimular pequeñas imperfecciones de ejecución.

	DURACIÓN (PROMEDIO)	CONTENIDO FRECUENCIAL DOMINANTE	NIVEL (PROMEDIO)	CONTRIBUCIÓN A LA INTELIGIBILIDAD DE LA PALABRA
VOCALES	≈ 90 ms	bajas frecuencias	nivel vocales ≈ nivel consonantes + 12 dB	baja
CONSONANTES	≈ 20 ms	altas frecuencias		alta

Tabla 3.a. Características más relevantes del mensaje oral. Fuente [20] Carrión.

Este aumento del tiempo de reverberación hace que la sala sea "viva". Sin embargo si fuese poco reverberante (por ejemplo por exceso de absorción), se considera "muerta" o "sorda". La vivacidad está vinculada al valor del tiempo de reverberación a frecuencias medias y altas (por encima de 500 Hz), tal y como se puede ver en el gráfico 3.g.

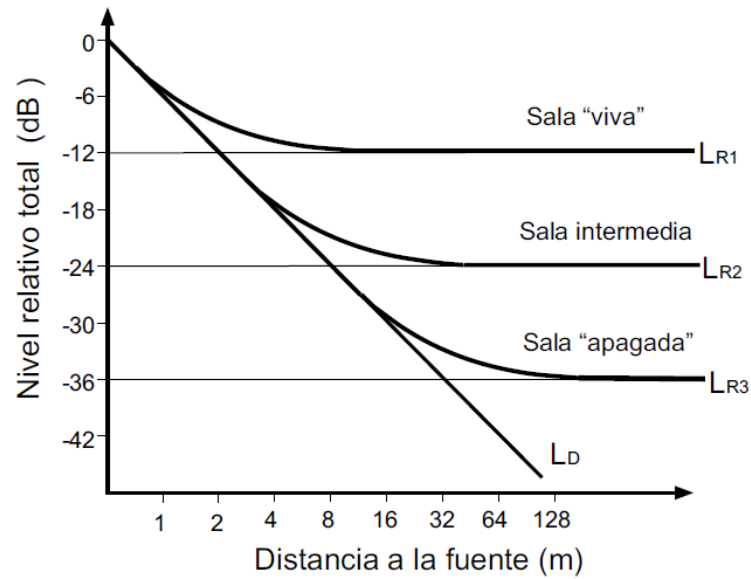


Gráfico 3.g. Clases de salas según el nivel de presión sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

En el caso de locales para varios usos, o por ejemplo las salas multiusos, se puede intentar buscar un término medio. En el gráfico 3.h se muestra el T_r para palabra (zona inferior), T_r para música (zona superior) y la zona intermedia de T_r óptimo para espacios que requieran música y voz.

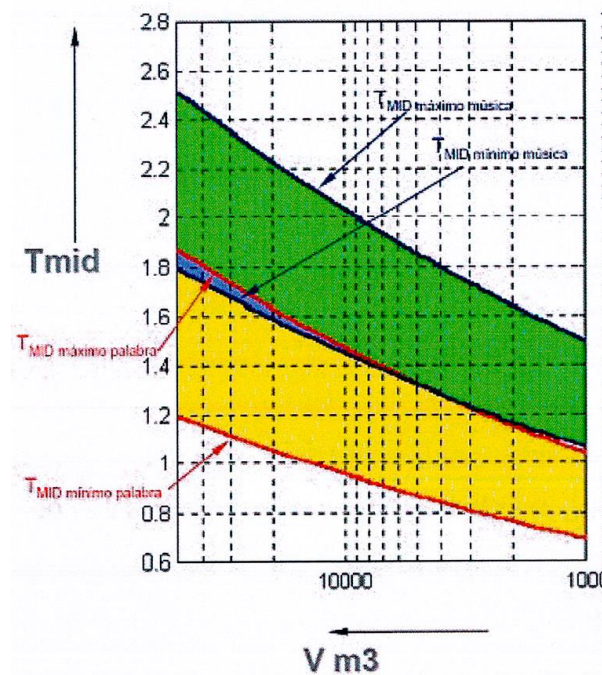


Gráfico 3.h. Zona de T_r común para palabra y música. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Todo esto es una referencia para que podamos llegar a alguna conclusión en la construcción de un espacio bueno para la conversación. Es evidente que debemos rebajar el tiempo de reverberación lo máximo posible, lo que nos lleva a la colocación de material absorbente. Y esto también será bueno

en la línea de intentar que el sonido de una conversación no interrumpa otra, con lo que la conclusión hasta aquí es de lo más clara: **la colocación de material absorbente va a determinar el poder tener un espacio de confort para la conversación.**

4. MARCO LEGAL DEL ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO.

Hoy en día existe normativa que regula cada aspecto de la construcción. Esto es para asegurar un mínimo de calidad, de manera que el usuario cuando disfrute de alguna edificación lo haga en unas condiciones mínimas. Esto mismo pasa con el acondicionamiento acústico, aunque desde no hace mucho, pues aunque sí existían exigencias en cuanto al aislamiento, la primera normativa que reguló el acondicionamiento fue el Documento Básico HR. Protección frente al ruido [N1] de Septiembre de 2009 (la anterior norma NBE-CA-81 [N8] tan solo marcaba unas recomendaciones). Este DB se deriva de la LOE [N7] (figura 4.a), donde se establecen las **exigencias básicas** que deben cumplir los edificios para satisfacer los **requisitos básicos**.

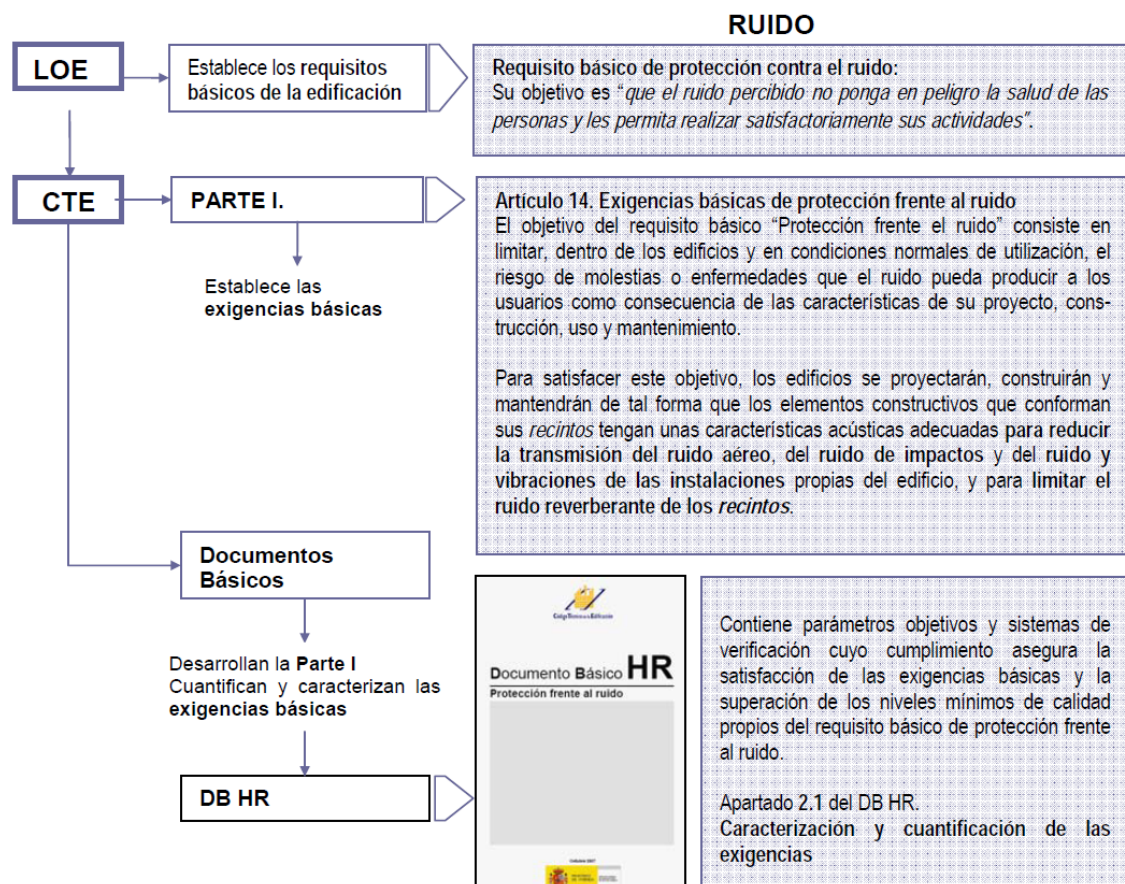


Figura 4.a. Esquema marco legislativo. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

4.1 Encuadre de bares y restaurantes en algún tipo de recinto.

Este documento excluye de su ámbito de aplicación a los recintos ruidosos que se registrarán por su reglamentación específica, y a los recintos de pública concurrencia destinados a espectáculos públicos, por requerir un estudio especial de acondicionamiento acústico. Ya que en este trabajo no vamos a considerar los locales destinados a actuaciones, pues estos ya son objeto de estudios

profundos, tendríamos que determinar si los bares o restaurantes entran dentro del grupo de recintos ruidosos, o mejor aún, determinar en qué grupo de los del DB HR encuadramos estos. Para ello se muestran a continuación las definiciones que este documento ofrece de toda clase de recintos:

Recinto: Espacio del edificio limitado por cerramientos, particiones o cualquier otro elemento de separación.

Recinto de actividad: Aquellos recintos, en los edificios de uso residencial (público y privado), hospitalario o administrativo, en los que se realiza una actividad distinta a la realizada en el resto de los recintos del edificio en el que se encuentra integrado, siempre que el nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, del recinto sea mayor que 70 dBA. Por ejemplo, actividad comercial, de pública concurrencia, etc.

A partir de 80dBA se considera recinto ruidoso.

Todos los aparcamientos se consideran recintos de actividad respecto a cualquier uso salvo los de uso privativo en vivienda unifamiliar.

Recinto ruidoso: Recinto, de uso generalmente industrial, cuyas actividades producen un nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, en el interior del recinto, mayor que 80 dBA.

Recinto de instalaciones: Recinto que contiene equipos de instalaciones colectivas del edificio, entendiendo como tales, todo equipamiento o instalación susceptible de alterar las condiciones ambientales de dicho recinto. A efectos de este DB, el recinto del ascensor no se considera un recinto de instalaciones a menos que la maquinaria esté dentro del mismo.

Recinto habitable: Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

- a) habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales;
- b) aulas, salas de conferencias, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
- c) quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario u hospitalario;
- d) oficinas, despachos; salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
- e) cocinas, baños, aseos, pasillos, distribuidores y escaleras, en edificios de cualquier uso;
- f) cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

En el caso en el que en un recinto se combinen varios usos de los anteriores siempre que uno de ellos sea protegido, a los efectos de este DB se considerará recinto protegido.

Se consideran recintos no habitables aquellos no destinados al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. En esta categoría se incluyen explícitamente como no habitables los trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

Recinto protegido: Recinto habitable con mejores características acústicas. Se consideran recintos protegidos los recintos habitables de los casos a), b), c), d).

Recinto ruidoso: Recinto, de uso generalmente industrial, cuyas actividades producen un nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, en el interior del recinto, mayor que 80 dBA.

En un principio los bares y restaurantes encuadrarían perfectamente dentro del grupo de los “recintos de actividad”, pero tan sólo si se considera que sus actividades producen un nivel medio de presión sonora inferior a 80 dBA, de ser mayor se encuadrarían en “recintos ruidosos”, con lo que estarían excluidos del ámbito de aplicación. Estos recintos se regirán por la reglamentación específica, la Ley 37/2003, del Ruido [N3], así como los Reales Decretos posteriores que la desarrollan (tal y como se verá en 5.5 “Requerimiento del aislamiento”), y por las normativas municipales a las que esta da competencia. En principio podemos prever que en un bar o restaurante, salvo casos concretos, no va

a producirse una presión sonora superior a los 80 dBA, con lo que podemos considerarlo “recinto de actividad” de cara al CTE

4.2 Exigencia del acondicionamiento acústico.

Los requerimientos del DB HR se centran en los tres aspectos de la figura 4.b, uno de los cuales es el acondicionamiento acústico.



Figura 4.b. Aspectos que contempla el DB HR. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

Para ello los pasos a seguir, de una manera general para cualquier recinto, son los de la figura 4.c. En primer lugar clasificar el recinto. En este caso la exigencia se centra en dos tipos de locales:

- a) Aulas y salas de conferencias cuyo volumen sea inferior a 350 m^3 .
- b) Restaurantes y comedores.

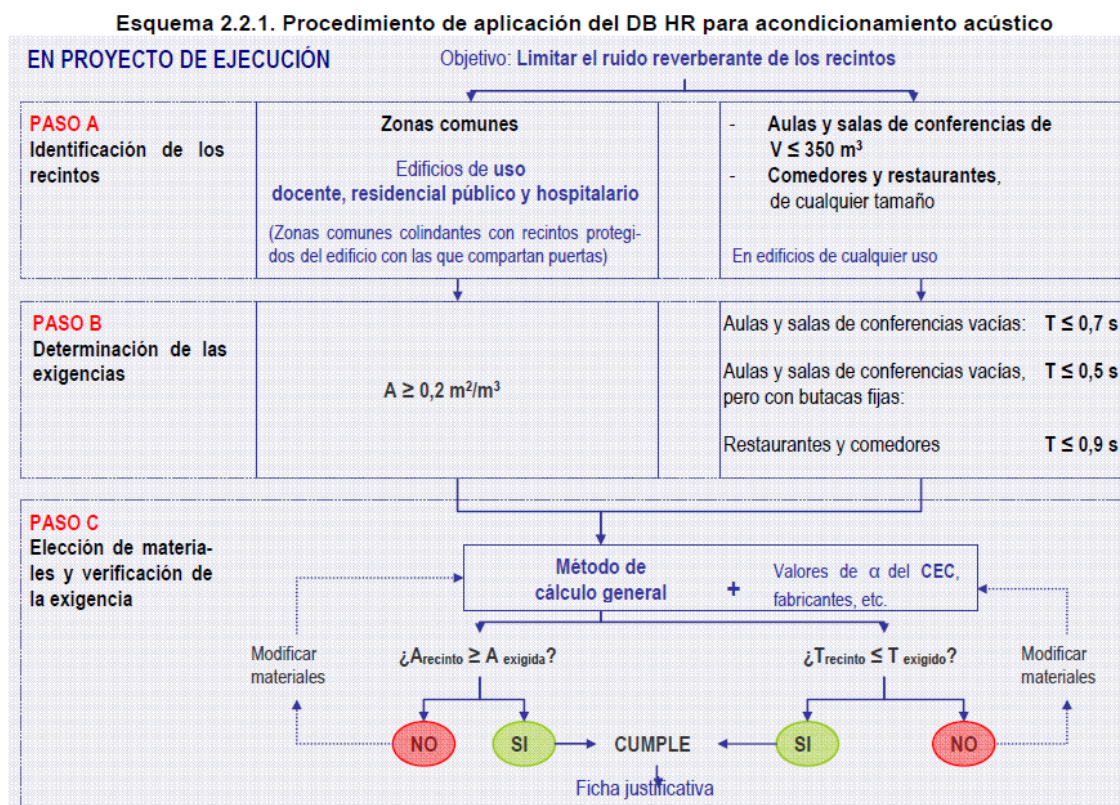


Figura 4.c. Esquema de pasos a seguir. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

El DB HR no define lo que son “restaurantes”, lo que puede crear duda si en el caso de bares también tienen que cumplir esta exigencia. Aunque en todo bar existe una cocina, y lo normal es que puedas comer algo, lo que hace pensar que estos podrían estar englobados dentro de la exigencia de restaurantes. Además si vamos más allá y lo que realmente queremos conseguir es un espacio de confort acústico, es más que deseable el respetar este mínimo.

En segundo lugar lo que limita el CTE es el **tiempo de reverberación**, por dos motivos:

- La disminución de los niveles de ruido en el interior de los edificios.
- Una mayor inteligibilidad de la palabra.

En el caso de los restaurantes el tiempo de reverberación (T) no pasará de 0.9 segundos, estando estos vacíos (tabla 4.a).

Tabla 2.2.1. Valores máximos de tiempo de reverberación

Recinto ⁴	Tiempo de reverberación
Aulas y salas de conferencias vacías	$T \leq 0,7 \text{ s}$
Aulas y salas de conferencias vacías, pero con butacas fijas	$T \leq 0,5 \text{ s}$
Comedores y restaurantes	$T \leq 0,9 \text{ s}$

De cada uno de los diferentes tipos de recintos especificados en la tabla, debe verificarse que $T_{\text{recinto}} \leq T_{\text{límite exigido}}$, como mínimo, en cada recinto que sea diferente en forma, tamaño y elementos constructivos.

Tabla 4.a. Tiempos de reverberación regulados en el CTE. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

Finalmente se calcula el T para hacer esta comprobación.

4.3 Cálculo del tiempo de reverberación.

Para calcular el tiempo de reverberación de un recinto el DB HR ofrece dos posibilidades:

- a) el **método de cálculo general**, a partir del volumen y de la absorción acústica de cada uno de los recintos del apartado.
- b) el **método de cálculo simplificado**, que consiste en emplear un tratamiento absorbente acústico aplicado en el techo.

Además el DB aclara que para calcular el tiempo de reverberación y la absorción acústica, deben utilizarse los valores del coeficiente de absorción acústica medio, α_m , de los acabados superficiales, de los revestimientos y de los elementos constructivos utilizados y el área de absorción acústica equivalente medio, $A_{O,m}$, de cada mueble fijo. En caso de no disponer de valores del coeficiente de absorción acústica medio α_m de productos, podrán utilizarse los valores del coeficiente de absorción acústica ponderado, α_w de acabados superficiales, de los revestimientos y de los elementos constructivos de los recintos.

4.3.1 Método de cálculo general.

Este método es el que tiene en cuenta cualquier superficie absorbente del local (A). Utiliza la formula de Sabine (ecuación 3.d) explicada en el apartado 3.5.1, teniendo en cuenta el volumen del local (V). El cálculo de A se realiza con la ecuación 3.c explicada en el apartado 3.4 “Absorción acústica” y que recordaremos a continuación:

$$Tr = \frac{0.16 \cdot V}{A}$$

Ecuación 3.d.

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^N A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$$

Ecuación 3.c.

donde:

$\alpha_{m,i}$ = coeficiente de absorción acústica medio de cada paramento, para las bandas de tercio de octava centradas en las frecuencias de 500, 1.000 y 2.000 Hz.

S_i = área de paramento cuyo coeficiente de absorción es α_i , (m^2).

$A_{O,m,j}$ = área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente diferente (m^2).

V = volumen del recinto (m^3).


m_m = coeficiente de absorción acústica medio en el aire, para las frecuencias de 500, 1.000 y 2.000 Hz y de valor $0,006 m^{-1}$.

El término $4 m_m V$ es despreciable en los recintos de $V < 250 m^3$.

De la página del CTE se pueden obtener una hoja de cálculo para rellenar y calcular automáticamente el tiempo de reverberación (tabla 4.b). El procedimiento es muy simple:

- Se anotan los metros cúbicos de volumen que posee el local, previo cálculo, en su casilla correspondiente.
- Se selecciona debajo de esta casilla el tipo de recinto.
- Se selecciona el tipo de acabado así como la superficie que ocupa. Estos acabados están en el “Catálogo de Elementos Constructivos” y recogidos en otra hoja de este archivo con la que tiene acceso directo, de manera que al seleccionarlo, automáticamente aparece el coeficiente de absorción medio que le caracteriza.
- Por último hay que añadir el área de absorción acústica equivalente media de cada mueble fijo absorbente.

Esta hoja automáticamente calcula el tiempo de reverberación y arroja el resultado de si cumple o no el mínimo (figura).



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Cálculo del tiempo de reverberación y absorción acústica. Método general

Datos de Entrada y Cálculos

Volumen del Recinto

Volumen V_r (m³)

125

Tipo de recinto

Restaurantes y Comedores vacíos

Resultado

Área equivalente A (m²)

6,50

Resultado Cálculo T_{60} (s)

3,08

Requisito CTE T_{60} (s)

0,9

Tiempo de Reverberación T (s)

3,08

≤

0,9

NO CUMPLE

Paramentos

REF	Paramentos	$\alpha_{m,i}$	S_i (m²)	$\alpha_{m,i} \cdot S_i$
1	AA.0.01	0,01	25	0,3
2	AA.21	0,05	25	1,3
3	AA.6	0,02	100	2,0
4	A.0.0	-	0	-
5	A.0.0	-	0	-
6	A.0.0	-	0	-
7	A.0.0	-	0	-
8	A.0.0	-	0	-
9	A.0.0	-	0	-
10	A.0.0	-	0	-

Muebles fijos absorbentes

	Muebles	$A_{0,m,j}$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		



Esta herramienta facilita la aplicación del método de cálculo de la opción general del DB HR Protección frente al ruido, del CTE.

v 2.0 Diciembre 2009

Tabla 4.b. Cálculo del tiempo de reverberación. Fuente: Hoja de cálculo del CTE.

El DB HR adjunta una ficha justificativa (figura 4.d) para el cálculo de A obteniendo el coeficiente de absorción medio (α_m) a partir de los coeficientes a las frecuencias de 500, 1.000 y 2.000 Hz.

La tabla siguiente recoge la ficha justificativa del cumplimiento de los valores límite de *tiempo de reverberación* y de absorción acústica mediante el método de cálculo

(1) Sólo para salas de conferencias de volumen hasta 350 m³
(2) Sólo para volúmenes mayores a 250 m³

Figura 4.d. Ficha justificativa para el cálculo del tiempo de reverberación. Fuente [N1] DH HR.

Es muy probable que para cumplir el mínimo exigido sea suficiente el colocar absorbente en el techo (normalmente con un falso techo, siempre que de la altura del local). El método simplificado parte de esta idea. Así mediante la fórmula 4.a se calcula el coeficiente de absorción medio (α_m) que ha de tener este para que cumpla.

$$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,18 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right)$$

Ecuación 4.a

donde:

$\alpha_{m,t}$ = coeficiente de absorción acústica medio del techo.

h= altura libre del recinto (m).

S_t = área del techo (m^2).

Y aún ofrece la posibilidad de, en el caso que no se consiga un material con ese coeficiente de absorción, completarlo con material absorbente en paramentos adicionales al del techo, pero tiene que cumplirse la relación de la ecuación:

$$\alpha_{m,t} \cdot S_t = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i$$

Ecuación 4.b

donde:

$\alpha_{m,t}$ = coeficiente de absorción acústica medio del techo.

S_t = área del techo (m^2).


$\alpha_{m,i}$ = coeficiente de absorción acústica medio del material utilizado para tratar el área S_i .

S_i = área del paramento cuyo coeficiente de absorción es $\alpha_{m,i}$ (m^2).

Igualmente que pasaba con el método general, de la página del CTE se puede obtener una hoja de cálculo para rellenar y calcular automáticamente este coeficiente de absorción medio (α_m). El procedimiento es muy simple (parte superior de la figura 4.e):

- a) Se introducen los metros cuadrados del local y la altura.
- b) Se selecciona el tipo de local a calcular.

En la parte central de la figura la hoja ofrece el coeficiente mínimo exigido.



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Cálculo del tiempo de reverberación y absorción acústica. Método Simplificado

Datos de Entrada y Cálculos

Caracterización del recinto

Superficie del Techo S_t (m²)

120

Altura de la sala h (m)

3,5

Tipo de recinto

Restaurantes y comedores

Aislamiento necesario en el techo

El coeficiente de absorción acústica medio del techo ha de ser igual o superior a:


0,59

Tratamientos absorbentes adicionales al del techo

Solo en caso de que no sea posible hallar un techo con el coeficiente de absorción acústica deseado

REF	Paramentos	$\alpha_{m,i}$	S_i	$\alpha_{m,i} \cdot S_i$
1	T3.1 PES 16 [0<p≤10] + MW + C [≥150]	0,50	117,3	58,7
2	AA.13 Parquet	0,05	117,3	5,9
3	AA.18 Revestimientos textiles	0,17	33,25	5,7
4	AA.18 Revestimientos textiles	0,17	52,5	8,9
5	A.0.0 -	-	0	
6	A.0.0 -	-	0	
7	A.0.0 -	-	0	
8	A.0.0 -	-	0	
9	A.0.0 -	-	0	
10	A.0.0 -	-	0	
Σ $\alpha_{m,i} \cdot S_i$			79,09	71,00

La absorción adicional es suficiente



MINISTERIO DE VIVIENDA

Esta herramienta facilita la aplicación del método de cálculo de la opción general del DB HR Protección frente al ruido, del CTE.

v 2.0 Diciembre 2009

Figura 4.e. Cálculo del coeficiente de absorción para el techo. Fuente: Hoja de cálculo del CTE.

En la parte inferior de la figura es donde se pueden añadir más materiales absorbentes de paramentos adicionales al techo (que ya están en conexión con un listado con sus correspondiente coeficientes de absorción), pudiendo comprobar en la esquina inferior izquierda que el sumatorio del producto de los coeficientes de absorción media por sus respectivas superficies sean igual para los techos como para los paramentos adicionales.

También en el DB HR se adjunta una ficha justificativa para poder cubrir y ordenar los datos y realizar los cálculos por uno mismo (figura 4.f).

K.4 Fichas justificativas del método simplificado del *tiempo de reverberación*

La tabla siguiente recoge la ficha justificativa del cumplimiento de los valores límite de *tiempo de reverberación* mediante el método simplificado.

Tratamientos absorbentes uniformes del techo:				
Tipo de recinto		h Altura libre, (m)	S _t Área del techo. (m ²)	α _{m,t} Coeficiente de absorción acústica medio
Aulas (hasta 250 m ³)	Sin butacas tapizadas			$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,23 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) =$ <input type="text"/>
	Con butacas tapizadas			$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,32 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) - 0,26 =$ <input type="text"/>
Restaurantes y comedores				$\alpha_{m,t} = h \cdot \left(0,18 - \frac{0,12}{\sqrt{S_t}} \right) =$ <input type="text"/>

Tratamientos absorbentes adicionales al del techo:							
Elemento	Acabado	S Área, (m ²)	α _m Coeficiente de absorción acústica medio				Absorción acústica (m ²) α _m · S
			500	1000	2000	α _m	
$\sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i = \alpha_{m,t} \cdot S_t =$							

Figura 4.f. Ficha justificativa para el cálculo del coeficiente de absorción del techo. Fuente [N1] DH HR.

5. LOS RECINTOS Y SU ENTORNO.

Este trabajo se centra en el acondicionamiento acústico, pero no es por eso que debamos dejar de dedicarle un momento a su interrelación inevitable del recinto en cuestión (bar o restaurante) con su entorno.

Ya hemos definido lo que es el ruido (sonido molesto o no deseado) y analizado el ruido de fondo que puede llegar a generarse en un ambiente o recinto. En este caso podemos medir el nivel de presión sonora y el determinar si es molesto o no es menos subjetivo, pudiendo fijar unos límites mínimos tal y como hacen las distintas normativas.

La **contaminación acústica** es el exceso de ruido que altera las condiciones normales del medio ambiente en una determinada zona. Se trata de un problema que afecta a la sociedad en general, provocado como consecuencia directa y no deseada de las actividades humanas (tráfico, actividades industriales, de ocio, etc.) y que tiene efectos negativos tanto en la salud de las personas como a nivel social y económico.

De esta manera, para garantizar las actuaciones dentro del recinto de cara a la mejora de la calidad acústica (**acondicionamiento acústico**), debemos antes **aislar acústicamente** ese recinto, es decir, evitar que la contaminación acústica circundante le afecte. Y también al mismo tiempo garantizar que las actividades que se realicen dentro de un recinto, de ser el caso, no contaminen las circundantes. Estas son las dos ramas de la acústica arquitectónica (tabla 5.a).



Tabla 5.a. Ramas de la acústica arquitectónica. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

Como ya se ha visto en el apartado anterior (vamos a repasarlo para partir de una base sólida), debemos encuadrar los bares y restaurantes, bien en “recintos de actividad”, si se considera que sus actividades producen un nivel medio de presión sonora inferior a 80 dBA, bien en “recintos ruidosos” si se considera que los van a sobrepasar. El DB HR “Protección frente el ruido” **[N1]** excluye de su ámbito de aplicación a los recintos ruidosos, de manera que estos se regirán por la reglamentación

específica, la Ley 37/2003, del Ruido **[N3]**, así como los Reales Decretos posteriores que la desarrollan (tal y como se verá en 5.5 “Requerimiento del aislamiento”), y por las normativas municipales a las que esta da competencia. En principio podemos prever que en un bar o restaurante, salvo casos concretos, no va a producirse una presión sonora superior a los 80 dBA, con lo que podemos considerarlo “recinto de actividad” de cara al CTE.

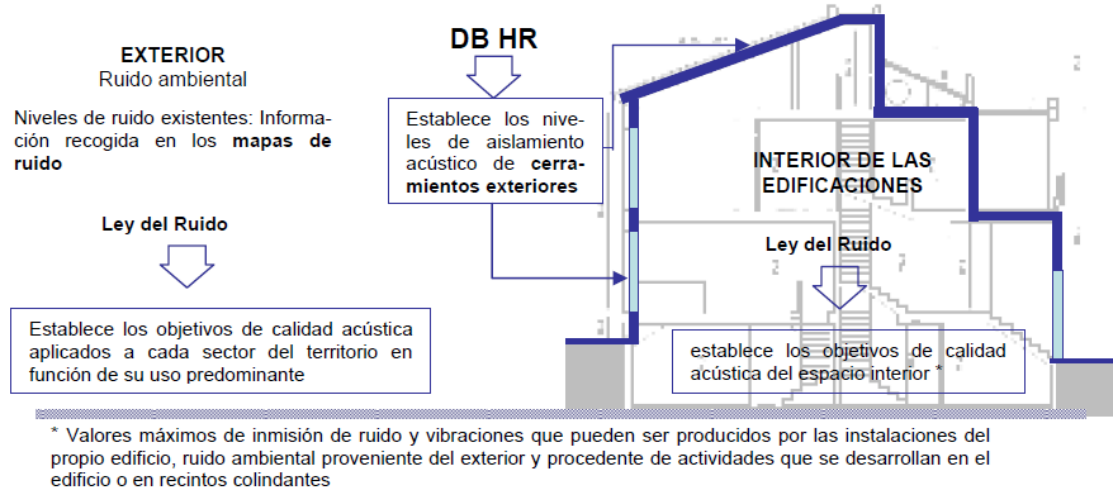


Figura 1.2. Relación entre la Ley del Ruido y el DB HR Protección frente al ruido

Figura 5.a. Marco normativo de la acústica en la edificación. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

De todas formas como un bar o restaurante es para desarrollar una “actividad” tendrá que cumplir siempre la normativa municipal si fuese más exigente que el CTE.

5.1 El aislamiento en el CTE

El CTE en su DB HR **[N1]** establece valores de aislamiento entre recintos, o entre el exterior y el recinto en el caso de recintos protegidos. Es de recalcar que el CTE marca tan solo **mínimos**.

Las unidades de medición que utiliza son las que aparecen en la tabla 5.b. $D_{nT,A}$ es la diferencia de niveles estandarizada ponderada A; $L_{nT,w}$ es el nivel global de presión de ruido de impactos estandarizado; $D_{2m,nT}$ es la diferencia de niveles estandarizada en fachadas, en cubiertas y en suelos en contacto con el aire exterior; R_A es el índice de reducción acústica ponderado A; $L_{n,w}$ es el nivel global de presión de ruido de impactos normalizado; $R_{A,tr}$ es el índice global de reducción acústica para ruido de tráfico.

Tabla 1.1. Resumen de índices de aislamiento utilizados en el DB HR.

	Índices de aislamiento acústico	
	En el edificio	De elementos constructivos.
Ruido aéreo entre recintos	$D_{nT,A}$ (dBA)	R_A (dBA)
Ruido de impactos	$L'_{nT,w}$ (dB)	$L_{n,w}$ (dB)
Ruido aéreo entre un recinto y el exterior	$D_{2m,nT,A,tr}$ (dBA)	$R_{A,tr}$ (dBA)
	índices que expresan el aislamiento exigido en el DB HR	índices utilizados en las opciones de aislamiento del DB HR
	SE PUEDEN ENSAYAR IN SITU'	NO SE PUEDEN ENSAYAR IN SITU SON INDICES QUE SE OBTIENEN EN LABORATORIO

Tabla 5.b. Unidades que utiliza el CTE en cuanto al aislamiento acústico. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

5.1.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo.

En relación con el exterior, el CTE tan sólo fija una exigencia en el caso de aislamiento acústico en “recintos protegidos”. Esta se muestra en la tabla 5.c. Aunque no nos afecta por no estar los bares y restaurantes entre los usos que determina, se expone a modo de información, pues en ningún caso estos deberían estar por debajo de dichos mínimos, considerando tanto un sentido de transmisión (de fuera a dentro) como el contrario (de dentro a fuera), pues es muy común que bares y restaurantes tengan alguna fachada al exterior, y en muchos casos varias.

Tabla 2.1 Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d .

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario ⁽¹⁾ , docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

⁽¹⁾ En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas al diagnóstico y tratamiento, etc.

Tabla 5.c. Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo. Fuente [N1] DB HR.

A partir de ahí considera parejas de recintos para determinar el aislamiento que debe estar posicionado entre los dos por la posible transmisión del ruido. Esta transmisión puede ser a través de una pared en común, a través del forjado o simplemente a través de la junta entre este y el tabique (figura 5.b).

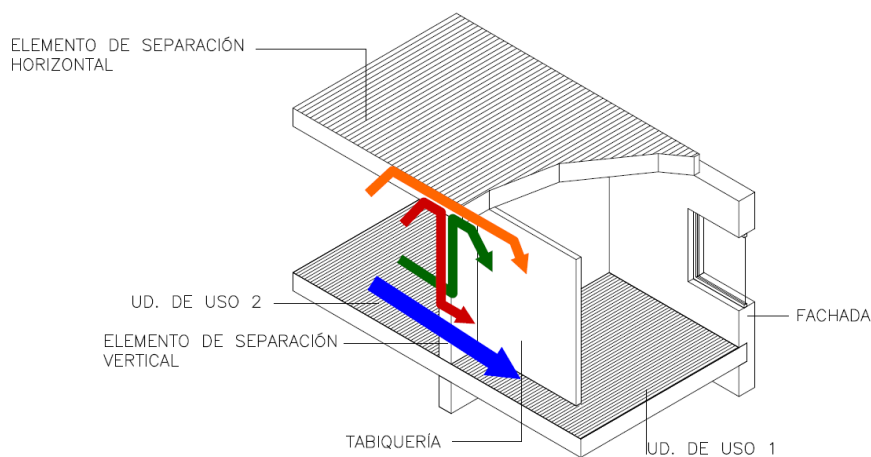


Figura 1.3. Esquema de vías de transmisión acústica a ruido aéreo entre dos recintos. En azul se indica la transmisión directa, a través del elemento de separación vertical.

En otros colores se han indicado las transmisiones indirectas o de flancos.

- **En naranja** la transmisión de flanco a flanco, en este caso a través del forjado.
- **En rojo**, la transmisión flanco-directo, desde el forjado al elemento de separación vertical.
- **En verde** la transmisión directa-flanco, desde el elemento de separación vertical al forjado.

Figura 5.b. Esquema de transmisión acústica a ruido aéreo entre dos recintos. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

Las combinaciones pueden ser numerosas, tal como se puede ver en la tabla 5.d. Recordemos que el aislamiento es el mismo en las dos direcciones, por lo que en el caso de ser el recinto colindante protegido este será el que marque la exigencia.

Recinto de actividad con →	habitable	protegido
No comparten puertas	$D_{nT,A} \geq 45 \text{ dBA}$	$D_{nT,A} \geq 55 \text{ dBA}$
Compartiendo puertas	$R_A \text{ puerta} \geq 30 \text{ dBA}$ $R_A \text{ cerramiento} \geq 50 \text{ dBA}$	

Tabla 5.d. Exigencia de aislamiento por parejas de recintos. Fuente: propia basada en el [N1] DB HR.

5.1.2 Aislamiento acústico a ruido de impacto.

El nivel global de presión de ruido de impactos expresa la transmisión de ruido de impactos entre recintos, de tal forma, que cuanto menor es el valor de $L'_{nT,w}$ exigido, mayor es el aislamiento acústico a ruido de impactos requerido.

Respecto a los recintos de instalaciones o de actividad, debe precisarse que las exigencias de aislamiento acústico a ruido de impactos (tabla 5.e) se aplican a los recintos, independientemente de que pertenezcan a la misma unidad de uso o no.

RECINTO EMISOR	RECINTOS RECEPTORES	
	Protegido Impactos ⁽¹⁾ $L'_{nT,w}$ (dB)	Habitable Impactos ⁽¹⁾ $L'_{nT,w}$ (dB)
De instalaciones o de actividad	60	60

Tabla 5.e. Exigencia de aislamiento a ruido de impacto. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

Las exigencias de aislamiento a ruido de impactos se aplican a los elementos de recintos colindantes verticalmente, horizontalmente y con una arista horizontal común. En la figura 5.c se muestra como el recinto de la unidad de uso 2 y el de la 4 deben cumplir un máximo de 65 dB por tener aristas en común, y lo mismo entre la 1 y la 4 pese a tener tan sólo una arista común. Esta figura está sacada de la Guía de aplicación del DB HR [5], y nos muestra como entre distintas unidades de uso la exigencia mínima es de un máximo de 65 dB. En el caso de recinto de actividad (y también de instalaciones) no se tiene en cuenta si pertenece a la misma unidad de uso, aumentando la exigencia a un máximo de 60 dB. Es decir, un nivel de presión de ruido de impactos de $L'_{nT,w}$ de 65 dB, significa menos aislamiento acústico a ruido de impactos y por lo tanto, menor confort acústico que un nivel de $L'_{nT,w}$ de 60 dB. Y esto independientemente de si pertenecen a la misma unidad de uso o no.

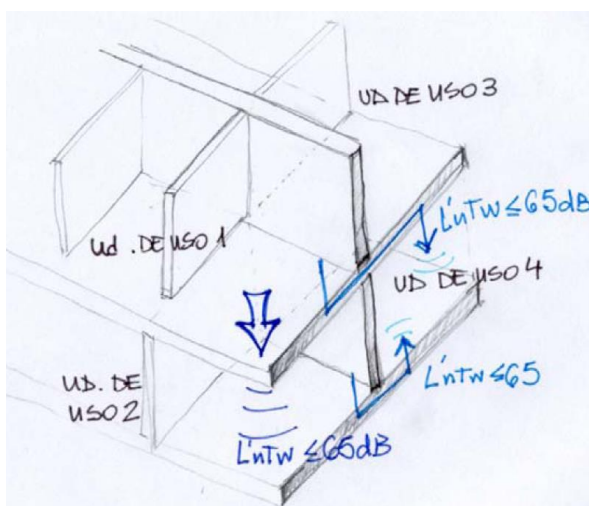


Figura 5.c. Unidades de uso colindantes. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

5.1.3 Valoración de los materiales que delimitan el local.

En este DB se concretan unos sistemas constructivos que de antemano sabemos que van a cumplir unos mínimos en aislamiento acústico. Estos son los elementos de separación vertical y horizontal, y son aquellos que separan una unidad de uso de cualquier recinto del edificio o que separan recintos protegidos o habitables de recintos de instalaciones o de actividad.

Los elementos de separación verticales son de tres tipos (figura 5.d) y deben estar ejecutados con unas características concretas tal y como aclara el DB:

a) tipo 1: Elementos compuestos por un elemento base de una o dos hojas de fábrica, hormigón o paneles prefabricados pesados (Eb), sin trasdosado o con un trasdosado por ambos lados (Tr);

- b) tipo 2:** Elementos de dos hojas de fábrica o *paneles prefabricado pesados* (Eb), con *bandas elásticas* en su perímetro dispuestas en los encuentros de, al menos, una de las hojas con forjados, suelos, techos, pilares y *fachadas*;
- c) tipo 3:** Elementos de dos hojas de *entramado autoportante* (Ee).

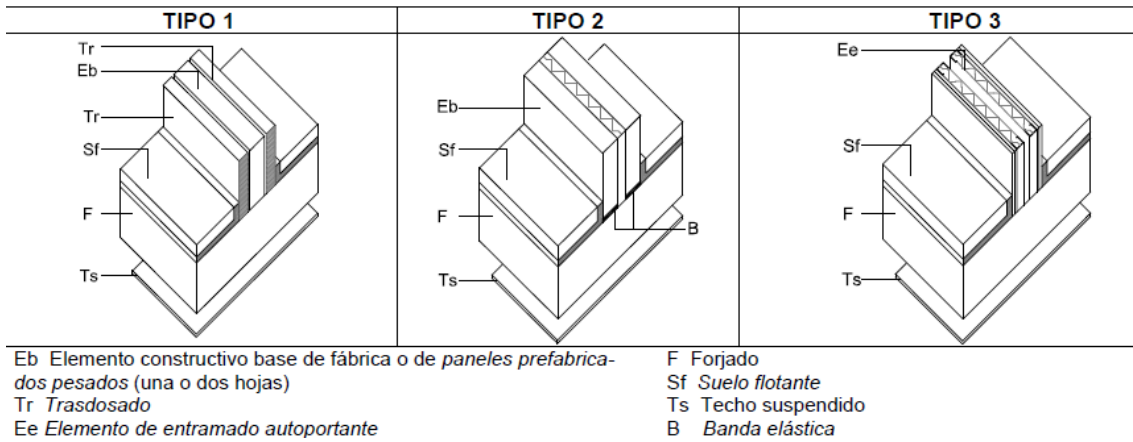


Figura 5.d. Tipos de elementos de separación. Fuente [N1] DB HR.

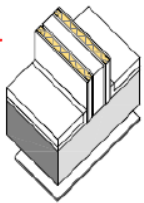
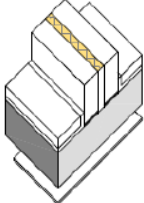
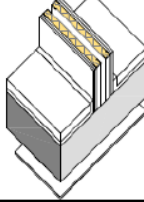
En la tabla 5.f podemos ver la exigencia mínima que deben cumplir estos elementos separadores. Se ha resaltado en un cuadro azul el texto que indica que en el caso de recintos de actividad estos valores aumentan su exigencia ligeramente.

1. Elección del tipo de ESV

2. cumplimiento de valores de m y R_A simultáneamente

3. Para ESV tipo1, elección del trasdosado en función de la tabiquería

Tabla 3.2. Parámetros acústicos de los componentes de los elementos de separación verticales

Tipo	Elementos de separación verticales			
	Elemento base ⁽¹⁾⁽²⁾ ($E_b - E_e$)		Trasdoso ⁽³⁾ (Tr) (en función de la tabiquería)	
	m kg/m ²	R_A dBA	Tabiquería de fábrica o paneles prefabricados pesados ⁽⁴⁾ ΔR_A dBA	Tabiquería de entramado autoportante ΔR_A dBA
TIPO 1 Una hoja o dos hojas de fábrica con Trasdoso 	67	33		16 ⁽⁸⁾⁽¹¹⁾
	120	38		14 ⁽⁸⁾⁽¹¹⁾
	150	41	16 ⁽⁸⁾	13 ⁽¹¹⁾
	180	45	13	9 ⁽¹¹⁾ (12) ⁽¹¹⁾
	200	46	11 ⁽¹¹⁾	10 ⁽¹³⁾ (10) ⁽¹¹⁾
	250	51	6 ⁽¹³⁾	4 ⁽¹³⁾ (8) ⁽¹³⁾
	300	52	3 ⁽¹³⁾ 8 (9)	3 ⁽¹³⁾ (8) ⁽¹³⁾
	300 ⁽⁷⁾	55 ⁽⁷⁾	-	-
	350	55	5 ⁽¹³⁾ (8) ⁽¹¹⁾	0 ⁽¹³⁾ (6) ⁽¹³⁾
	400	57	0 ⁽¹³⁾ 2 ⁽¹³⁾ (6) ⁽¹³⁾	0 ⁽¹³⁾ (6) ⁽¹³⁾
TIPO 2 Dos hojas de fábrica con bandas elásticas perimétricas 	130 ⁽⁵⁾	54 ⁽⁵⁾	-	-
	170 ⁽⁵⁾	54 ⁽⁵⁾		
	(200) ⁽⁸⁾	(61) ⁽⁸⁾		
TIPO 3 Entramado autoportante 	44 ⁽¹²⁾	58 ⁽¹²⁾		
	(52) ⁽⁹⁾	(64) ⁽⁹⁾		
	(60) ⁽¹⁰⁾	(68) ⁽¹⁰⁾		

Valores entre paréntesis. Para ESV entre recintos de instalaciones o de actividad y recintos protegidos y habitables del edificio

Tabla 5.f. Características de los elementos de separación. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

Los elementos de separación horizontales están formados por el forjado (F), el suelo flotante (Sf) y, en algunos casos, el techo suspendido (Ts).

La Guía de aplicación del DB HR [5], nos ofrece más información acerca de estos elementos (tablas 5.f y 5.h).

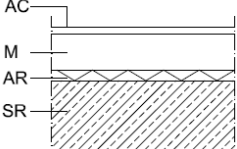
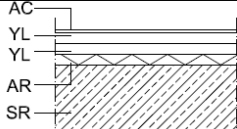
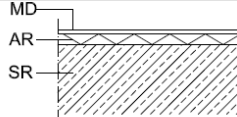
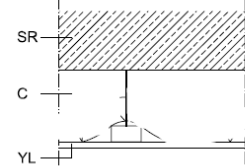
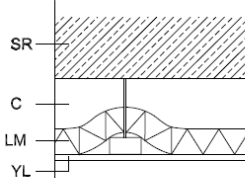
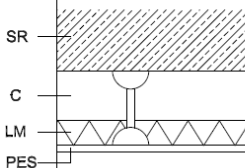
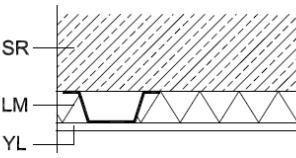
Código	Esquema	Comentarios
SF1		Suelo flotante de mortero de cemento. Buenas prestaciones tanto a ruido aéreo como a ruido de impactos. (Véase ficha SF-01)
SF2		Solera seca Buenas prestaciones a ruido de impactos. (Véase ficha SF-02)
SF3		Suelo flotante formado por una tarima flotante. Buenas prestaciones a ruido de impactos, su aislamiento a ruido aéreo es nulo.
Leyenda	SR: Soporte resistente: Forjado o losa AR: Material aislante a ruido de impactos: Por ejemplo: Lana mineral (LM), poliestireno expandido elastificado (EEPS), polietileno expandido (PE-E) o reticulado (PE-R). AC: Acabado del suelo: Gres, madera, etc. YL: Placa de yeso laminado MD: Tablero de madera de espesor mayor que 0,8 mm.	
Las prestaciones acústicas (ΔL_w y ΔR_a), así como los espesores del material aislante a ruido de impactos puede consultarse en el CEC.		

Tabla 5.g. Elementos de separación horizontal. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.

Código	Esquema	Comentarios
T00		Falso techo con placas de yeso laminado sin material absorbente en la cámara Aislamiento acústico a ruido aéreo pobre Cámara de espesor mayor que 100 mm Espesor mínimo de las placas: 15mm o 2x12,5 mm Véase ficha T-01.
T01		Falso techo con placas de yeso laminado y lana mineral en la cámara: Buen aislamiento acústico a ruido aéreo. Cámara de espesor mayor que 150 mm Espesor mínimo de las placas: 15mm o 2x12,5 mm Espesor mínimo del material absorbente acústico, lana mineral: 50 mm Véase ficha T-01.
T02		Falso techo con placas escayola y lana mineral en la cámara: Buen aislamiento acústico a ruido aéreo. Cámara de espesor mayor que 120 mm Espesor mínimo del material absorbente acústico, lana mineral: 80 mm
T03		Falso techo anclado al forjado sin cámara: Aislamiento acústico a ruido aéreo pobre Espesor mínimo de las placas: 15mm o 2x12,5 mm
Leyenda	SR: Soporte resistente: Forjado o losa C: Cámara LM: Material absorbente acústico, como lana mineral. YL: Placa de yeso laminado, espesor de al menos 15 mm o 2x12,5 mm, suspendida de tirantes metálicos PES: Placa de escayola suspendida mediante tirantes de estopa	

Las prestaciones acústicas (ΔL_w y ΔR_a), así como los espesores del material aislante a ruido de impactos puede consultarse en el CEC.

Tabla 5.h. Elementos de separación horizontal. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR

Además en la página del código técnico podemos consultar **el catálogo informático de elementos constructivos** en el que podemos ver las características de un sistema constructivo.

5.2 Requerimiento del aislamiento.

En lo que se refiere a normativa estatal, la Ley 37/2003 **[N3]**, de 17 de noviembre, del Ruido, y los reales decretos posteriores que la desarrollan, RD 1513/2005 **[N4]**, RD 1367/2007 **[N5]** y RD 1038/2012 **[N6]**, marcan valores mínimos para ciertos aspectos como índices de ruido según uso del suelo por sectores, uso de locales, etc.

Dicha ley, en su artículo 4 da competencia a los ayuntamientos en materia de contaminación acústica.

A partir de aquí los ayuntamientos deben construir su propia normativa, lo que podría llevar a desigualdad de condiciones entre ayuntamientos cercanos o incluso limítrofes.

En la obra de Gestión de la contaminación acústica **[8]**, Luis Espada Recarey, Francisco Javier Rodríguez Rodríguez y Víctor Manuel Martínez Cacharrón, intentan estandarizar valores mínimos en lo que podría ser una guía para la elaboración de las ordenanzas municipales y así evitar grandes dispersiones en estos valores. En ella determinan una primera categoría en la que se podrían incluir bares y restaurantes, pero que no pasen de 80 dBA, (lo que corresponderían a “recintos de actividad” en el CTE). En el caso de pasar de este nivel entraríamos en el tipo 2 siempre y cuando no se vayan a producir actuaciones en directo dentro del bar o restaurante. A continuación establecen dos tipos más, el 3 y el 4 para locales más ruidosos (tabla 5.i).

La siguiente tabla refleja los valores mínimos de aislamiento acústico a ruido aéreo exigidos:

Tipo	Características	Ejemplos de actividades representativas	Aislamientos mínimos	
			D _{nT,A} (dBA)	D ₁₂₅ (dB)
Tipo 1	Actividades de pública concurrencia, sin equipos de amplificación sonora, con o sin TV (1) y funcionamiento diurno o parcialmente nocturno, con niveles sonoros de hasta 80 dBA.	Bares, cafeterías, restaurantes, mesones y similares.	57	42
Tipo 2	Actividades de pública concurrencia, sin equipos de amplificación sonora, con o sin TV (1) y funcionamiento diurno o parcialmente nocturno, con niveles sonoros de hasta 85 dBA.	Salones de juegos recreativos, bingos y similares (2).	60	45
Tipo 3	Actividades de pública concurrencia, con equipos de reprod./amplific. audiovisual y niveles sonoros entre 85 y 90 dBA, cualquiera que sea su horario de funcionamiento.	Pubs, pistas de bolos, bares con música y similares.	70	55
Tipo 4	Actividades de pública concurrencia, con equipos de reprod./amplific. audiovisual y niveles sonoros superiores a 90 dBA o actuaciones en directo, cualquiera que sea su horario de funcionamiento.	Salas de fiestas, discotecas, locales con música en directo o actuaciones en directo y similares (3).	75	58

(1) Para las actividades de Tipo I y Tipo II la TV no ha de funcionar como equipo de amplificación sonora (emisión de canal musical a volumen elevado).

(2) Entrarían dentro de este grupo, los gimnasios, las panaderías y confiterías con taller, zapaterías, pescaderías, carnicerías y similares.

(3) Entrarían dentro de este grupo los cines.

Tabla 5.i. Clasificación de las actividades por grupos. Fuente [8] Gestión de la contaminación acústica.

Además recomienda la instalación de suelo flotante si el suelo del establecimiento se asienta sobre un forjado, dejando libre el espacio inferior. Cuando el suelo del establecimiento esté asentado sobre terreno firme, se admitirá la desolarización del paramento horizontal de los verticales, especialmente de pilares.

En la mayor parte de los ayuntamientos ya existe **normativa municipal** sobre contaminación acústica de aplicación en el ámbito territorial en que se ejerce su competencia. Dicha materia aparece regulada, fundamentalmente, en ordenanzas municipales, ya que las Corporaciones Locales, como administración más cercana a la ciudadanía, son en la práctica competentes (recordemos que legalmente tienen su competencia reconocida por la Ley 37/2003 **[N3]**) para intervenir ante los problemas y conflictos que puedan suscitarse en el ámbito urbano.

Los aspectos más importantes que definen las ordenanzas urbanas son:

- a) Definen los tipos de áreas acústicas.

- b) Determinan, para cada una de las áreas acústicas, los niveles máximos diurnos y nocturnos que cualquier instalación, establecimiento, actividad o comportamiento pueden transmitir al medio ambiente exterior e interior.
- c) Aplican medidas sancionadoras.

Las normas promulgadas por los entes locales deberán respetar las reglamentaciones contenidas en la legislación estatal de carácter general y en la propia de las Comunidades Autónomas. En el caso de ayuntamientos que no cuenten con ordenanzas municipales sobre dicha materia son de aplicación supletoria las normas estatal y/o autonómica.

En el caso de Galicia no existe ley autonómica alguna vigente, por estar derogada por la Ley 12/2011, tanto la Ley 7/1997, de 11 de agosto como su normativa de desarrollo, o sea, el Decreto 320/2002.

Ya que este trabajo va a ser presentado en A Coruña, echaremos un vistazo a la normativa de este ayuntamiento. La Ordenanza municipal [N2] marca mínimos de aislamiento dependiendo del nivel sonoro.

A continuación se muestran las tablas 5.j y 5.k en las que se acota los valores de inmisión y emisión de ruido, lo que condicionaría el aislamiento de la fachada, aunque en la práctica la exigencia del Ayuntamiento se reduce al aislamiento entre el local y las viviendas contiguas, como veremos después:

NIVEL DE INMISIÓN			
ZONIFICACION	TIPO DE LOCAL	NIVELES LIMITE dB (A)	
		Día (8-22)	Noche (22-8)
Equipamientos	Sanitario/bienestar social	30	25
	Cultural y religioso	30	30
	Educativo	40	30
	Para el ocio	40	40
Servicios Terciarios	Hospedaje	40	30
	Oficinas	45	35
	Comercio	55	45
Residencial	Piezas habitables, excepto cocina y cuartos de baño	35	30
	Pasillos, aseos y cocinas	40	35
	Zonas de acceso común	50	40

Tabla 5.j. Nivel de emisión según zonificación. Fuente [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña.

NIVEL DE EMISIÓN		
SITUACIÓN DE LA ACTIVIDAD	NIVELES LÍMITES dB (A)	
	Día (8-22)	Noche (22-8)
Zona de equipamiento sanitario	55	45
Zona con residencia, servicios terciarios, no comerciales o equipamientos no sanitarios	60	50
Zonas con actividades comerciales	65	60
Zonas con actividad industrial o servicio urbano excepto servicios de administración	75	70

Tabla 5.k. Niveles de emisión según actividad. Fuente [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña.

El siguiente extracto de la ordenanza habla del aislamiento acústico con linderos:

2.-Las instalaciones de bares y otros establecimientos hosteleros cuyo nivel sonoro interior no sea superior a 76 dB(A) por provenir fundamentalmente de los usuarios y carecer de equipo musical deberán tener un Aislamiento Acústico Bruto entre la actividad y la vivienda más afectada, como mínimo de 55 dB(A) si la actividad se ejerce, al menos parcialmente, en horario nocturno y de 50 dB(A) si la actividad se desarrolla íntegramente en horario diurno.

Las instalaciones de PUBS, Karaokes, Discotecas y similares cuyo nivel sonoro interior sea debido primordialmente a equipos musicales, deberán tener un Aislamiento Acústico Bruto entre la actividad y la vivienda más afectada, que cumpla las especificaciones siguientes:

Nivel Sonoro Interior (N.E.I)	Aislamiento Acústico
> 80	60
> 90	65
> 100	70

3.-En viviendas adyacentes, la solución constructiva de los tabiques, muros de separación y forjados (estén dotados o no de aislamiento acústico) proporcionarán una atenuación global mínima para los ruidos aéreos y de impacto de 45 dB(A). Dicho límite se aumentará en 10 dB para el aislamiento acústico que ha de proporcionar el forjado de separación de los locales comerciales a las viviendas más próximas. El Aislamiento Acústico se medirá "in situ" mediante emisión de ruido rosa.

Así pues podemos comprobar que el requerimiento mínimo para el aislamiento acústico en bares y restaurantes cuyo nivel sonoro interior no sea superior a 76 dBA, es de 50 dBA para locales en horario diurno (de 8 a 22 horas) y de 55 dBA en nocturno (la mayoría de bares y restaurantes abarcarán ambos, o sea que la referencia será los 55 dBA), lo que es más restrictivo que el CTE, siendo en este caso de obligado cumplimiento la normativa municipal, tal y como se puede observar en la tabla 5.l.

	Normativa Ayto A Coruña	CTE	
		Comparten puertas	No comparten puertas
< 76 dBA	55	45	50
< 80 dBA	-	45	50
> 80 dBA	60	-	-

Tabla 5.l. Comparativa de exigencias para el aislamiento acústico en bares y restaurantes entre la normativa municipal y el CTE. Fuente: elaboración propia basada en [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña. En el caso de ser recinto ruidoso quedaría fuera del ámbito de aplicación del CTE y la exigencia sería de 60 dBA.

En cuanto al elemento de separación horizontal (forjado) que separaría en la mayoría de los casos el local comercial (bajo) de la vivienda (primera planta), el mínimo exigido es de 55 dBA, aunque en este caso no podemos compararlos pues la normativa municipal habla de aislamiento mientras el CTE habla de nivel global de ruido de impactos en dB.

Esta misma ordenanza, en el apartado del ejercicio de las licencias en establecimientos públicos determina una clasificación por grupos según la actividad del local. Bares y restaurantes pertenecerían al grupo I siempre y cuando no tengan música, ni siquiera música ambiental, sino pertenecerían al grupo II. En este apartado las exigencias aumentan incluso para el caso más sencillo (<76 dBA), que figura en la tabla 5.l.

Tal y como podemos ver en la tabla 5.m, la exigencia mínima sube a 60 dBA, aunque en el Ayuntamiento te informan que realmente para el grupo I exigen tan solo 55 dBA. Para el grupo II sí que ya exigen los 65 dBA, además de una serie de características que marca también la ordenanza como: suelo flotante, techo aislante suspendido, cerramiento doble, puertas acústicas, doble puerta en la entrada con apertura automática para mantenerla siempre cerrada a partir de las 22 horas, ausencia de ventanas practicables y huecos al exterior y fonógrafo. Recordemos que en el caso de tener música ambiental pertenecería al grupo II.

	Tipo de local	Nivel presión sonora máx.	Aislamiento exigido	Terraza
Grupo I	Bares, tabernas Café-bar, cafetería Restaurantes	75 dBA	60 dBA	Autorización municipal
Grupo II	Café-bar especial* Pubs	80 dBA	65 dBA	No permitida

Tabla 5.m. Requerimientos según tipo de local. Fuente: elaboración propia basada en [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña.

**Café-bar especial: Puede estar amenizado con música ambiental, quedando asimilado a Pub*

El siguiente grupo, el III, en el que el nivel de presión sonora máximo sube a 90 dBA es ya para locales para conciertos, karaokes, boleras, salones de juegos recreativos, etc.

6. ESTUDIO DE LOS MATERIALES.

6.1 Introducción.

Son muchos los investigadores que en los últimos años intentan dar solución a los problemas relacionados con el aislamiento y el acondicionamiento acústicos. Con este propósito van apareciendo nuevas teorías y modelos que predicen el comportamiento acústico de los materiales, tanto los utilizados tradicionalmente como los que empiezan a abrirse paso en la actualidad, provenientes muchos de ellos del reciclado de industrias como la textil.

Son diversos los parámetros que caracterizan acústicamente un material: impedancia superficial, porosidad, tortuosidad, impedancia característica compleja, constante de propagación, longitud característica térmica, etc.

Entre todos estos parámetros, hay dos que permiten caracterizar completamente los materiales de tipo poroso y fibroso: la **constante de propagación compleja** (Γ) y la **impedancia característica compleja** (Z). A su vez esta está relacionada con la **resistencia al flujo del aire** (σ) (resistencia ofrecida por un medio material cuando el aire pasa por él). Esta resistencia se considera debida a la fricción entre el aire y las fibras y, por tanto la energía disipada en el rozamiento se perderá en una estrecha zona de aire adyacente a la fibra en el material. Estos parámetros están directamente relacionados con la capacidad de absorción acústica de los materiales, característica determinante para la eficacia en acondicionamiento acústico.

Existen modelos que permiten determinar la impedancia acústica característica y la constante de propagación de los materiales fibrosos a partir de sus propiedades físicas, que pueden ser **empíricos, fenomenológicos y microestructurales**.

El más conocido de los **modelos empíricos** es el de Delany y Bazley [9], que presentaron unas relaciones a partir del ajuste de gran cantidad de datos experimentales. En su trabajo se presentan los valores de la impedancia característica y de la constante de propagación para un conjunto de materiales absorbentes del sonido de tipo fibroso. Las relaciones para el cálculo de estos dos parámetros son función de la relación entre la frecuencia (f) y la resistencia específica al flujo (σ). Los materiales con que trabajaron Delany y Bazley son materiales con alta porosidad (el factor de porosidad es la relación entre el volumen de aire en los poros y el volumen total del material). En el caso de tener materiales de baja porosidad, habría que realizar modificaciones en el procedimiento propuesto por estos autores.

La denominada **aproximación fenomenológica** consiste en sustituir un sólido poroso saturado por un fluido equivalente.

Por último, la denominada **aproximación microestructural** consiste en el estudio de la propagación de las ondas sonoras en el interior de un poro para, posteriormente, generalizar los resultados a

escala macroscópica. Attenborough [10] ha desarrollado modelos microestructurales. Estos modelos se caracterizan porque requieren el conocimiento de cinco parámetros: porosidad, tortuosidad, resistividad, longitud característica térmica y longitud característica viscosa.

Estos modelos microestructurales proporcionan, en general, una buena visión física de los mecanismos de disipación de energía, pero son más complejos y se necesita un conocimiento muy detallado de la microestructura de los materiales.

6.2 Métodos de estudio.

En la tesis doctoral “Modelización, simulación y caracterización en acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica” [11], Ernesto Juliá Sanchís clasifica los métodos para determinar las propiedades absorbentes del sonido de los materiales en tres grupos:

- a) Métodos de medida en tubos.
- b) Métodos de medida en cámara reverberante.
- c) Métodos de medida en campo libre.

Con respecto a los **métodos de medida en tubos**, el método más clásico para determinar el coeficiente de absorción acústica a partir de la medida de la impedancia superficial de un material bajo incidencia normal, es el basado en el tubo de impedancia acústica (o tubo de ondas estacionarias).

Esta técnica se utiliza principalmente en laboratorio, pero hay algunos investigadores que trabajan en la forma de aplicarla para realizar medidas in situ cuando se trata de superficies planas (como asfaltos en carretera, por ejemplo).

Por su parte, el **método de la cámara reverberante** se utiliza para medir la absorción en situaciones de incidencia aleatoria. El principio de funcionamiento se basa en medir el tiempo de reverberación antes y después de colocar una muestra de material. El hecho de que se trabaje con campo sonoro difuso le proporciona a este método un mayor ajuste a la realidad.

En la tabla 6.a podemos observar las principales diferencias entre estos dos métodos vistos.

Concepto	Tubo de impedancia acústica	Cámara reverberante
Coeficiente	reflexión, impedancia y admitancia	absorción acústica
Valores	exactos	se basa en cierto número de hipótesis de simplificación y de aproximación relativas al campo acústico y al tamaño de la muestra
Onda sonora	incidencia normal a la muestra	incidencia aleatoria
Tamaño muestra	pequeñas	grandes

Tabla 6.a. Métodos de ensayo. Fuente: Elaboración propia basada en UNE-EN ISO 10534 y 354.

Finalmente, la mayor parte de los métodos de medida asumen condiciones de **campo libre**, lo que significa que no se producen reflexiones indeseadas por parte de ningún elemento que no sea el propio material a estudiar. Estos métodos de campo libre pueden clasificarse de varias formas: por ejemplo, según su aplicación “in situ” sea en recinto exterior o interior, según la clase de señal generada, según el número de micrófonos necesarios, etc.

A continuación profundizaremos en los dos primeros métodos, por ser los más utilizados en investigación y desarrollo de nuevos materiales para su posterior uso en obra.

6.2.1 Método del tubo de impedancia acústica, tubo de ondas estacionarias o tubo de Kundt.

Los materiales a ensayar por este método son los porosos, fibrosos o textiles (definidos en la clasificación de materiales). Se considera a estos como homogéneos e isotrópos. En general, la mayor parte de los materiales empleados acústicamente son poroelásticos.

El invento del tubo de impedancia acústica (figura 6.a) como método de medida para caracterizar materiales acústicamente se debe al físico alemán August Adolf Eduard Eberhard Kundt (1839-1894). Fue el sucesor de H. Von Helmholtz y director del Berlin Physical Institute.

Su trabajo se centró principalmente en las áreas del sonido y la luz. Desarrolló un método para la **investigación de las ondas dentro de los tubos** basado en situar un material en forma de polvo (por ejemplo el **lycoperidium**) en el interior de un tubo y hacerlo vibrar. Con esto, el polvo se iba apilando en determinados nodos. Una variante de este método permite calcular la velocidad del sonido en diferentes gases.

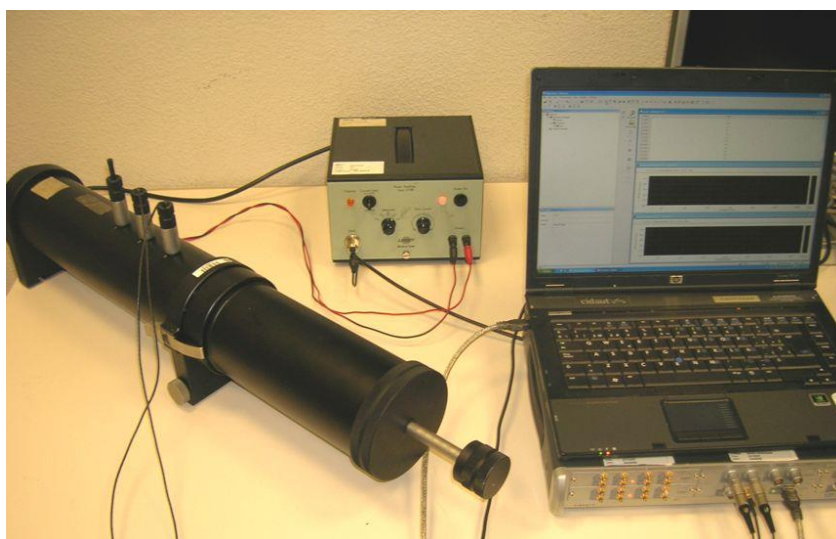


Figura 6.a. Tubo de impedancia acústica. Fuente: propia.

En el año **1945**, Scott [12] describió un método para medir directamente la **constante de propagación** y obtener la **impedancia característica** de un material poroso. Para la constante de propagación, Scott dedujo una **parte real** (factor de propagación, relacionado con el cambio de fase por unidad de longitud) y una **parte imaginaria** (factor de atenuación, relacionado con la caída

exponencial de la presión sonora en el material). El trabajo de Scott consistió en medir la caída de presión sonora en el interior de una muestra pasando un micrófono a través de la misma.

La constante de propagación (conocida como Γ , aunque Scott en su trabajo la denomina como h), **describe la variación espacial de la perturbación acústica en el interior del medio poroso.**

Determinar la constante de propagación se reduce a determinar la atenuación y la longitud de onda (λ) de una onda plana propagándose por la muestra de lana de roca, que es el material que Scott utilizó en su trabajo.

Scott llega a la conclusión de que la medida de la impedancia característica se define como la relación entre la presión sonora y la velocidad de la onda en el medio. También se trata de un parámetro complejo en el que la parte real es la resistencia y la parte imaginaria es la reactancia.

Dos años después, en **1951**, los autores Ferrero y Sacerdote **[13]** proponen una técnica basada en la realización de **dos medidas de la impedancia acústica superficial**. Demuestran que es posible el cálculo de la impedancia característica y de la constante de propagación de los materiales porosos midiendo la impedancia superficial a partir de dos muestras del mismo material; siendo una de doble espesor que la primera. Este método ha sido conocido como el **método de los dos espesores**. Las medidas se realizan a una única frecuencia.

En el año **1969**, los autores Delany y Bazley **[9]** presentan un trabajo en el que realizan medidas de la impedancia característica y de la constante de propagación de una serie de materiales absorbentes del sonido de tipo fibroso, presentando sus resultados en función de la frecuencia dividida por la resistencia al flujo (σ). Esta fue obtenida directamente de la medida de la presión sonora a través de la muestra para una velocidad volumétrica conocida del flujo de aire pasando a través de la misma.

Estos llegan a una importante conclusión: **A pesar de la variación en el tamaño de la fibra y de su irregular distribución, la mayor parte de los materiales de tipo fibroso pueden considerarse suficientemente homogéneos e isotrópos en la dirección de propagación de las ondas planas.**

El gráfico 6.a muestra los resultados del trabajo de Delany y Bazley **[9]**, en la que se representan las curvas de los coeficientes de reflexión y de absorción acústica.

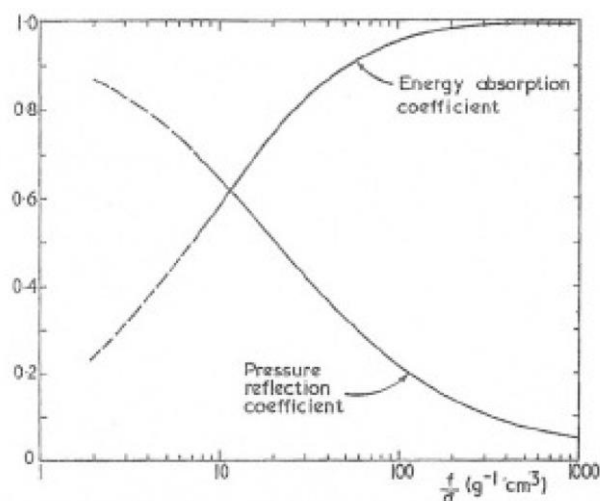


Gráfico 6.a. Curvas de los coeficientes de absorción y reflexión. Fuente [3] Modelización, simulación y caracterización de materiales.

Este modelo de Delany y Bazley [9] encuentra una de sus mayores aplicaciones en el **cálculo del coeficiente de absorción acústica (α_n)**.

Así llegamos al concepto que caracteriza hoy en día a los materiales acústicos. Otros muchos investigadores progresaron en la investigación, pues este tipo de estudio es lo que permite llegar a nuevos materiales con buen comportamiento acústico. De estos nombraremos tan solo dos: uno es Attenborough [10], **que a principios de la década de los 80**, presenta un trabajo de gran importancia para la aplicación de los materiales absorbentes del sonido en la acústica arquitectónica.

En su trabajo, este autor **revisa la teoría de la propagación del sonido en materiales porosos con matriz rígida y poros cilíndricos perpendicularmente situados con respecto a la superficie del material**.

Attenborough demuestra que es posible formular una teoría para la propagación del sonido en un material poroso con estructura rígida partiendo del modelo de poros cilíndricos.

Esta formulación se presenta como alternativa a las teorías clásicas que trabajan con parámetros como el factor de estructura o la densidad efectiva de los materiales.

En el año **2.000**, el trabajo de Song y Bolton [14] explica un procedimiento para determinar la impedancia característica y la constante de propagación de los materiales porosos basado en la **función de transferencia** (la que adoptará la Norma UNE-EN ISO 10534-2: "Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia").

En este trabajo se realiza una modificación del método convencional basado en el tubo de impedancia acústica. Se miden las presiones acústicas con micrófonos situados antes y después de la muestra para luego determinar la matriz de transferencia. Con este método resulta fácil determinar la impedancia característica y el número de onda de materiales porosos tanto de estructura rígida como flexible. El número de onda es un parámetro que indica el número de veces que se produce una fase concreta a lo largo de un metro de propagación. Se trata de un parámetro complejo.

La **UNE- EN ISO 10534-2** anteriormente nombrada se basa en la función de transferencia. Se aplica para el ensayo de determinación del coeficiente de absorción acústica para incidencia normal de absorbentes acústicos mediante un tubo de impedancia, dos posiciones de micrófono y un sistema digital de análisis de señal. Puede aplicarse también para la determinación de la impedancia acústica superficial o de la admitancia acústica superficial de los materiales. Puesto que los cocientes de impedancia de un material absorbente acústico se relacionan con sus propiedades físicas, tales como resistencia al flujo de aire, porosidad, elasticidad y densidad, las mediciones descritas en este método de ensayo son útiles en investigación básica y en el desarrollo de productos.

El método de ensayo es similar al especificado en la Norma **UNE-EN ISO 10534-1**, en cuanto que ambos usan un tubo de impedancia con una fuente sonora conectada en uno de sus extremos y la muestra en ensayo en el otro extremo. No obstante la técnica de medición es diferente. Esta se basa en las magnitudes medidas de la variación de los niveles de presión acústica después de generar una onda estacionaria en su interior.

Finalmente es de destacar que las condiciones en las que se realizan estos ensayos son muy concretas y muy controladas (por ejemplo la incidencia “normal” de las ondas de presión acústica), lo que en ocasiones no representa de forma suficiente las condiciones reales de trabajo en las que estos materiales van a desempeñar su función a lo largo de su vida útil, aunque sirven para la fase previa de estudio de los mismos.

6.2.2 Métodos de medida en cámara reverberante.

Actualmente la medida del coeficiente de absorción en cámara reverberante en los países europeos está regulada por la Norma **UNE-EN ISO 354 (2003)** *"Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante"*. Estos recintos deben reunir unas características de volumen y revestimientos determinados y desarrollarse el ensayo en unas condiciones determinadas de temperatura y humedad relativa.

Cuando una fuente sonora emite en un recinto, el nivel que alcanza el sonido reverberante y la caída de nivel que sigue al cese de la emisión de la fuente, están condicionados por las características de absorción sonora de las superficies frontera, del aire del recinto y de los objetos en su interior. En general, la fracción de potencia sonora incidente absorbida en una superficie depende del **ángulo de incidencia** (ángulo que en el ensayo anterior es “normal” a la muestra). Con objeto de relacionar el tiempo de reverberación de un auditorio, oficina, local, etc., con la reducción de ruido debida a un tratamiento absorbente, es preciso conocer las características de absorción sonora de las superficies, normalmente en forma de un adecuado promedio entre todos los ángulos de incidencia. Puesto que la distribución de ondas sonoras en recintos habituales incluye un amplio y altamente impredecible rango de ángulos, es conveniente, con fines de normalización, considerar una distribución uniforme como condición básica.

El campo sonoro dentro de una cámara reverberante diseñada correctamente se aproxima en gran medida a un campo sonoro difuso (la intensidad sonora es independiente de la posición dentro del

recinto). Por lo tanto, la absorción sonora medida en una cámara reverberante se aproxima igualmente a la absorción sonora que se mediría bajo las condiciones básicas de normalización.

Este ensayo es de suma importancia, pues las condiciones se aproximan mucho más a la realidad que el ensayo de tubos de impedancia. Aunque al problema de que se necesita una muestra de material mucho mayor, estas cámaras son de construcción muy costosa y ocupan mucho espacio. Una solución para intentar minimizar estos problemas es el tema de la tesis de máster de Francisco Arrebola Ballesteros [7] "Construcción de una cámara reverberante a escala para el estudio de pantallas acústicas" ya nombrada en el tema 3.

Otra Norma, la **UNE-EN ISO 11654** (1997) "*Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica*", indica un procedimiento de obtención de un único parámetro (α_w , coeficiente de absorción sonora ponderado) que sirve para evaluar el grado de absorción proporcionado por un material y permite obtener la clase de absorción acústica, tal y como se indica en la tabla 6.b. Sus coeficientes de absorción según la frecuencia son los del gráfico 6.b.

Clases de absorción acústica

Clase de absorción acústica	α_w
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Sin clasificar	0,10; 0,05; 0,00

Tabla 6.b. Clases de absorción acústica. Fuente: UNE-EN ISO 11654 (1997).

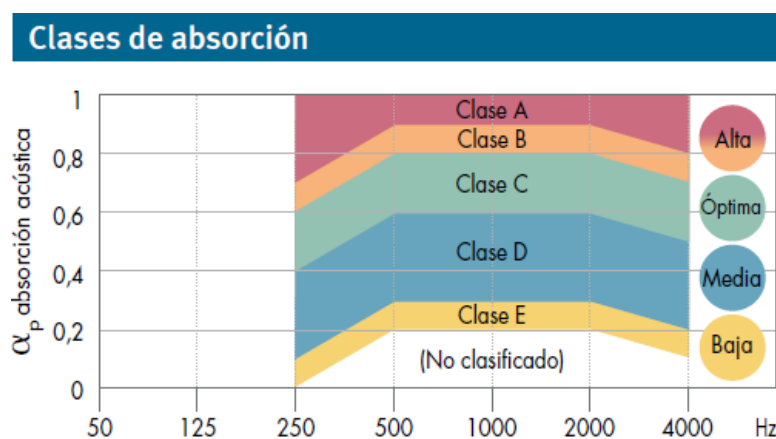


Gráfico 6.b. Coeficientes de absorción de las clases. Fuente: www.placo.es, basada en UNE-EN ISO 11654 (1997).

El índice de evaluación único especificado en esta norma internacional puede utilizarse para formular requisitos y para describir las propiedades de absorción acústica de productos destinados a oficinas

corrientes, pasillos, aulas, hospitales, etc. La evaluación no es adecuada si los productos están destinados a entornos cualificados que requieren un diseño esmerado, desde el punto de vista acústico, y unos conocimientos técnicos. En tales casos, sólo los datos completos de la absorción acústica como función de la frecuencia son satisfactorios.

Existen diferentes indicadores para el coeficiente de absorción, α_w , NRC, con valores distintos. Por ello, es conveniente saber a cuál se refiere la curva de absorción del fabricante o del ensayo en laboratorio.

A veces, esta curva (que suele darse en valores de bandas de octava de 125 Hz a 4.000 Hz) se sustituye por un único valor que hace referencia al valor medio α_m , que se obtiene de la media aritmética de las bandas de las frecuencias de 500, 1.000 Y 2.000 Hz.

Todos estos valores globales, productos de medias aritméticas, deben tomarse con precaución, pues no definen exactamente el comportamiento de determinado material.

6.3 Clasificación según características acústicas.

La cantidad de materiales utilizados en el ámbito de la construcción es muy amplia: **hormigón, materiales cerámicos, madera, vidrio, mármol, cartón yeso, lanas de roca, fibras de vidrio**, etc. Todos los materiales de construcción tienen un determinado comportamiento ante el impacto de las ondas sonoras, por lo que si queremos un material con determinadas propiedades acústicas debemos de estudiar el comportamiento de estos en el momento del contacto con la onda sonora y clasificarlos.

Ya sabemos que cuando una onda sonora llega a un paramento, una parte de la energía es reflejada y otra parte es absorbida. Una de las clasificaciones más comunes de los materiales utilizados en acondicionamiento acústico puede hacerse en función del efecto que producen las ondas sonoras en ellos:

- a) **Absorbentes:** que incluyen materiales absorbentes, público, mobiliario y el aire.
- b) **Reflectantes:** elementos reflectores usados para la generación de reflexiones útiles.
- c) **Difusores:** sistemas difusores utilizados para distribuir, de forma homogénea y en múltiples direcciones, la energía sonora incidente.

En este trabajo estudiaremos tan solo los materiales que funcionan como **absorbentes acústicos**. No se abarcarán los reflectores ni los difusores por ser estos empleados casi exclusivamente en locales acústicos, ámbito al que no pertenecen los bares y restaurantes. En estos no necesitamos grandes reflexiones ni difusiones, pues la conversación es siempre entre personas relativamente cercanas sin que las ondas sonoras tengan que hacer grandes recorridos, y normalmente siempre hay un mínimo de reflexión en todos los materiales para asegurar algo de reverberación, por aquello que habíamos comentado de que con reverberación cero el ambiente sería incluso dañino.

Cada material tiene unas **características absorbentes** diferentes, por ello es importante conocerlas para poder elegir el material adecuado en función de las características acústicas del recinto y de los tiempos de reverberación que se quieran obtener. Estas características de absorción dependen no sólo de sus propiedades físicas, sino, también, de su forma de colocación y de otros condicionantes. Es por ello que, para realizar cualquier diseño acústico, resulta imprescindible disponer de información de los **coeficientes de absorción acústica** (α), obtenidos mediante ensayos de laboratorio, según procedimiento homologado. En la tabla 6.c se acompañan los coeficientes de absorción orientativos de algunos materiales, a las frecuencias centrales.

código	Tipo	Descriptor	α_m
AA.1	Acabado	Hormigón visto	0,04
AA.2	Acabado	Hormigón pintado	0,07
AA.3	Acabado	Bloque de hormigón visto	0,09
AA.4	Acabado	Bloque de hormigón pintado	0,09
AA.5	Acabado	Ladrillo cerámico vistos	0,04
AA.6	Acabado	Ladrillo cerámico pintados	0,02
AA.7	Acabado	Enfoscado de mortero	0,06
AA.8	Acabado	Enlucido de yeso	0,01
AA.9	Acabado	Placa de yeso laminado (PYL)	0,06
AA.10	Acabado	Placas de escayola	0,05
AA.11	Acabado	Piedra	0,02
AA.12	Acabado	Madera y paneles de madera	0,08
AA.13	Acabado	Parquet	0,05
AA.14	Acabado	Tarima	0,09
AA.15	Acabado	Tarima sobre rastreles	0,05
AA.16	Acabado	Corcho	0,06
AA.17	Acabado	Metales	0,02
AA.18	Acabado	Revestimientos textiles	0,17
AA.19	Acabado	Moqueta, espesor ≤ 10 mm	0,17
AA.20	Acabado	Moqueta, espesor ≥ 10 mm	0,3
AA.21	Acabado	PVC	0,05
AA.22	Acabado	Linóleo	0,03
AA.23	Acabado	Caucho	0,03
AA.24	Acabado	Terrazo	0,02
AA.25	Acabado	Baldosas, plaquetas.	0,02
AA.26	Acabado	Vidrio	0,04
T3.a	Falso techo	YL 15 [$p=0$] + C [≥ 150]	0,05
T3.b	Falso techo	YL 15 [$0 < p \leq 10$] + MW + C [≥ 150]	0,52
T3.c	Falso techo	YL 15 [$0 < p \leq 10$] + V + C [≥ 150]	0,52
T3.d	Falso techo	YL 15 [$10 \leq p < 20$] + MW + C [≥ 150]	0,57
T3.e	Falso techo	YL 15 [$10 \leq p < 20$] + V + C [≥ 150]	0,57
T3.f	Falso techo	YL 15 [$p \geq 20$] + MW + C [≥ 150]	0,65
T3.g	Falso techo	YL 15 [$p \geq 20$] + V + C [≥ 150]	0,65
T3.h	Falso techo	PES 16 [$p=0$] + C [≥ 150]	0,15
T3.i	Falso techo	PES 16 [$0 < p \leq 10$] + MW + C [≥ 150]	0,5
T3.j	Falso techo	PES 16 [$0 < p \leq 10$] + V + C [≥ 150]	0,4
T3.k	Falso techo	PES 16 [$10 \leq p < 20$] + MW + C [≥ 150]	0,6
T3.l	Falso techo	PES 16 [$10 \leq p < 20$] + V + C [≥ 150]	0,6
T3.m	Falso techo	PES 16 [$p \geq 20$] + MW + C [≥ 150]	0,65
T3.n	Falso techo	PES 16 [$p \geq 20$] + V + C [≥ 150]	0,65
T3.o	Falso techo	PMW + C [≥ 150]	0,62
T3.p	Falso techo	PA + C [≥ 150]	0,62
T4.a	Falso techo	YL 15 + MW	0,05
T4.b	Falso techo	PES 16 + MW	0,06
T4.c	Falso techo	PMW	0,55
T4.d	Falso techo	PA	0,55

Tabla 6.c. Coeficientes de absorción acústica de distintos materiales empleados en la construcción.
Fuente Catálogo de elementos constructivos del CTE.

Así llamaremos **materiales absorbentes acústicos** a todos aquellos materiales o sistemas que disponen de elevados coeficientes de absorción sonora, en todo o en parte del espectro de frecuencias audibles. Entre estos se diferencian los **porosos o fibrosos** y los **resonadores**, en función de su forma de actuación frente a la energía sonora que incide sobre ellos, aunque dentro de cada uno existen diferenciaciones en cuanto a su constitución, presentación comercial o forma de colocación.

Los materiales **porosos** están constituidos por múltiples surcos o poros que se entrecruzan entre sí mientras que los **fibrosos** están formados por gran cantidad de fibras entrecruzadas y comprimidas. Ambos tipos funcionan de manera similar: la energía acústica incidente se transforma en energía calorífica debido al rozamiento interno del aire que pasa a través de los poros o fibras.

La absorción de este tipo de material es muy elevada a **altas frecuencias** y limitada a bajas.

En este grupo se incluyen los **textiles** con aplicación acústica.

Los sistemas resonadores son los otros absorbentes acústicos, cuya principal característica es que su absorción es muy selectiva en un rango estrecho del espectro de frecuencias, siendo los más utilizados: los resonadores de membrana y los resonadores de Helmholtz. Mientras los primeros, pertenecen a sistemas que pueden realizarse in situ, los segundos tienen una presentación comercial determinada.

El funcionamiento de **los resonadores de membrana** se basa en la micro vibración que producen las ondas sonoras al incidir sobre ellos a **bajas frecuencias**. Suelen ser paneles ligeros, placas poco rígidas, colocadas a modo de trasdosado semidirecto, es decir, elementos delgados separados de un elemento constructivo base de mayor masa (el elemento separador). Un ejemplo típico es el de un tablero de madera anclado a una estructura o bastidor, que se sujeta a una pared.

Un elemento separado cierta distancia de la pared o forjado puede funcionar como un **resonador de Helmholtz o de cavidad**, si se le practican aberturas. Con este tipo de resonadores se consigue, para un espesor limitado, un elevado grado de absorción para la gama de **frecuencias medias**. La amortiguación, en este caso, está determinada por el rozamiento del aire con las paredes de las perforaciones.

Tanto para los resonadores de membrana como para los de cavidad, la instalación de material absorbente poroso o fibroso en la cámara o plenum permite incrementar el rango de frecuencias de eficacia, aunque se reducen los coeficientes de absorción para la frecuencia más selectiva (los máximos serán menores).

En el gráfico 6.c se pueden comparar las curvas típicas de absorción de los 3 sistemas, en función de la frecuencia de actuación. Puede verse la eficacia a bajas frecuencias de los resonadores de membrana, la absorción selectiva de los Helmholtz a medias y los altos coeficientes que presentan los materiales porosos a altas frecuencias (con una curva suavizada).

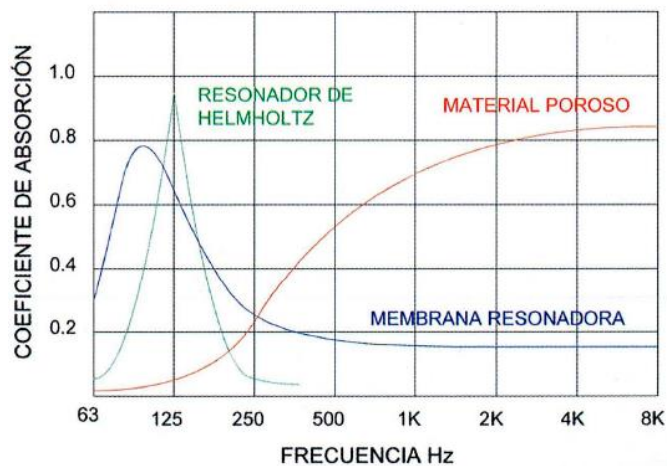


Gráfico 6.c. Comparativa de los coeficientes de absorción de los tipos de absorbentes. Fuente [2] Guía acústica.

Lo más probable es que el propio material que forma el elemento separador no tenga buenas características acústicas, por lo que habrá que revestirlo, o incluso podría pasar que no sea posible actuar sobre la superficie de este, ya sea porque se quieren dejar vistas pese a tener un carácter reflectante intrínseco (vidrio, hormigón, piedra, acero, superficies metálicas) o por su valor estético (en rehabilitaciones, reformas de espacios singulares o catalogados, de gran interés artístico o histórico). En estos casos, para realizar el control de la reverberación o la regulación de la absorción interna se pueden utilizar los **elementos singulares absorbentes, independientes o en grupos**.

O también se puede recurrir a la combinación de diferentes sistemas dentro del mismo paramento, para obtener la absorción en un rango más amplio de frecuencias (figura 6.b). Es por ello que, por ejemplo, muchas piezas tienen una presentación comercial modular muy similar.

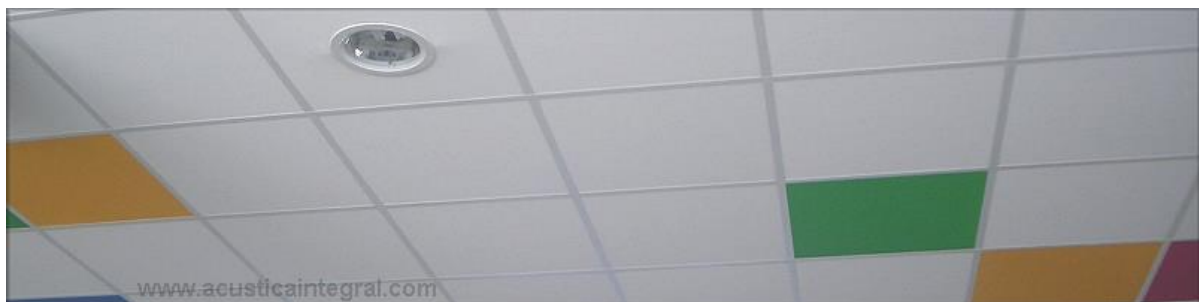


Figura 6.b. Falso techo modular y perfilería vista con paneles de distintas características. Fuente: www.acusticaintegral.com

6.3.1 Materiales porosos, fibrosos y textiles.

Los principales objetivos de estos materiales absorbentes son:

- Aumento de unidades de absorción a frecuencias altas.
- Prevención o eliminación de ecos u otras anomalías acústicas (reducción del Tr).
- Reducción del nivel de presión sonora en espacios ruidosos (fabricas, salas de máquinas).

A veces, la colocación de revestimientos absorbentes de paramentos persigue una disminución interna de los niveles de presión sonora, más que intentar conseguir parámetros de confort interno necesarios, en cuanto a la inteligibilidad y tiempos de reverberación. Esto suele suceder en el caso de salas de maquinaria ruidosa (figura 6.c), complementando las soluciones de “aislamiento” acústico y de atenuación de vibraciones.



Figura 6.c. Revestimiento de material absorbente de una sala de máquinas para atenuación de la presión sonora. Fuente: www.pinta-elements.com

Aun siendo absorbentes, la onda sonora incidente en estos materiales es parcialmente reflejada, pero la que no lo es penetra en el material y se atenúa por rozamiento continuado en los poros internos, con lo que una parte alcanza de nuevo su superficie después de reflejarse en el paramento base rígido posterior. El planteamiento teórico es que este proceso continúa indefinidamente. La onda sonora reflejada en el interior del material puede imaginarse como compuesta por un número ilimitado de componentes sucesivas, cada una más débil que la precedente a causa de la considerable atenuación que tiene lugar en el interior del material. Este mecanismo de absorción del sonido es propio de todos los materiales porosos, fibrosos y textiles siempre y cuando estén constituidos por una estructura sólida dentro de la cuál existen una serie de **pequeños poros conectados entre sí y con el exterior**, a modo de laberinto, no así los de estructura celular cerrada, de cavidades no comunicadas, que impiden la entrada de las ondas sonoras (la mayor parte de los corchos, poliestirenos, hormigón celular).

Aunque la estructura interna de estos materiales es muy irregular, suelen considerarse homogéneos e isótropos. La cualidad de homogeneidad supone que las características del material son las mismas en cualquier parte de la muestra, mientras que la cualidad de isotropía supone que las características son idénticas en cualquiera de las tres direcciones espaciales.

En cuanto a su constitución (que da lugar a su presentación comercial), se puede distinguir entre materiales **esqueleto rígido, flexible** (mantas), tal como se pueden ver en la figura 6.d, y **borra** (a granel, ligeramente impregnada en resina), y dentro de ellos, las distintas variedades, como las fibras minerales o naturales, los textiles, espumas de poliuretano, de poliéster, morteros proyectados, etc. Normalmente, su presentación (a excepción de las borras y los proyectados) es de paneles de dimensiones estándar o en rollo, pero también, como objetos o baffles descolgados puntualmente

(adoptando formas cilíndricas ó rectangulares prismáticas). En su cara exterior puede ser conveniente la aplicación de una barrera de vapor (velos acústicos transparentes, papel kraft, aluminio).

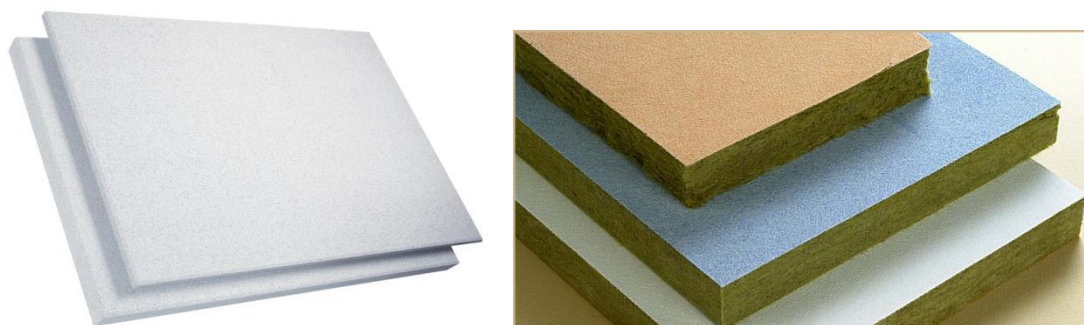


Figura 6.d. Absorbente poroso de estructura rígida (izquierda) y flexible (derecha). Fuente: www.metrasoni.es

Se tienen ciertas dudas sobre la influencia de la densidad y del espesor en el comportamiento de estos materiales respecto a su absorción acústica. De distintos ensayos realizados para comprobar esto, bajo las Normas UNE-EN ISO 354:2004 (Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante) y UNE-EN ISO 11654:1998 (Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica), se ha llegado a la conclusión, por ejemplo, de que la influencia de la densidad de las lanas minerales en la absorción es mínima, comparado con la influencia del espesor.

A medida que el espesor es mayor, su coeficiente de absorción acústica también se incrementa hasta llegar a un valor máximo que se estabiliza, y que pertenece a espesores de unos 90 mm. Por encima de ellos, no hay aumento de absorción.

Esto puede verse en el gráfico 6.d de los coeficiente de absorción de una fibra de vidrio, donde puede apreciarse cómo para las altas frecuencias el comportamiento es similar para los 3 espesores considerados, mientras que en las medias y bajas frecuencias se aprecia claramente la ganancia obtenida al aumentar el espesor. A partir de cierto espesor, esta ganancia es despreciable.

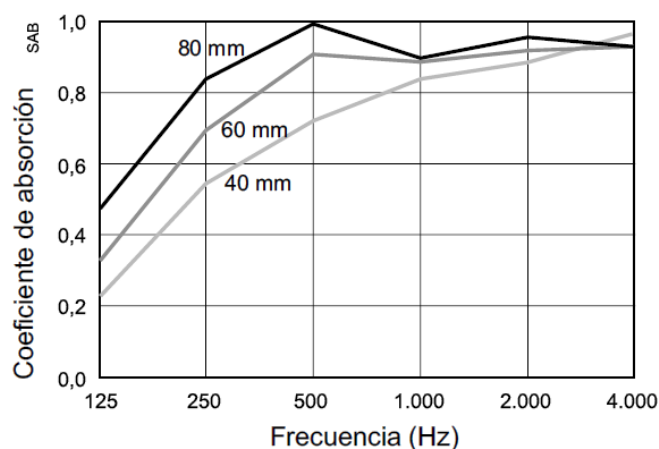


Gráfico 6.d. Comparativa de coeficientes de absorción de una fibra de vidrio de varios espesores. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

En cuanto a la densidad realmente no influye mucho en su absorción, y ello es debido a que si es baja, existen pocas pérdidas por fricción y, en consecuencia, la absorción es menor. A medida que la densidad va aumentando, se produce un incremento progresivo de absorción hasta llegar a un valor límite, a partir del cuál la absorción disminuye, debido a que existe una menor penetración de la onda sonora en el material, es decir, una mayor reflexión de energía. En el gráfico 6.e se muestran los valores de los coeficientes de absorción de una lana de roca de 60 mm de espesor y densidades de 40 y 100 Kg/m³.

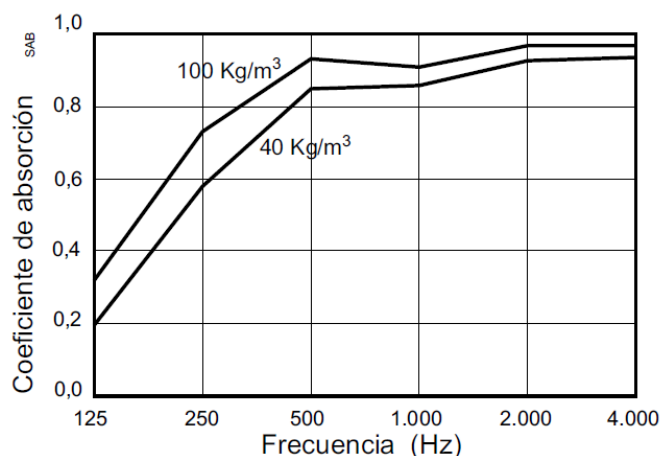


Gráfico 6.e. Comparativa de coeficientes de absorción de una lana de roca de varias densidades.
Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

En la práctica, se suelen utilizar absorbentes fibrosos de densidad media, cuyo valor depende del tipo de material, en fibra de vidrio es de 40 kg/m³, en lana de roca 70 kg/m³ y en espuma de poliéster, 15 kg/m³.

Una manera de **mejorar el comportamiento para bajas frecuencias** de estos materiales es montándolos sobre rastreles a una cierta distancia de la pared rígida, dejando una cámara de aire. El espesor de ésta depende del tipo de frecuencias que se desea corregir. La cámara actúa como un implementador del espesor real del material, de modo que se pueden conseguir absorciones más elevadas para un mismo producto según su posición respecto a una pared rígida. Este hecho tiene especial relevancia en bajas y medias frecuencias, pero no en las altas, ya que en éstas los coeficientes de absorción son de por sí muy elevados.

En general, cuanto mayor es la distancia o cámara entre un material absorbente poroso y el elemento que trasdosa, menor será la frecuencia a la que la absorción será máxima. Por lo tanto, para aumentar la absorción a bajas frecuencias, es preciso aumentar la separación entre el material y la pared o forjado.

El gráfico 6.f muestra a modo ilustrativo la variabilidad de los coeficientes de absorción de un determinado material absorbente poroso de espesor constante en función de la distancia de colocación respecto al paramento base:

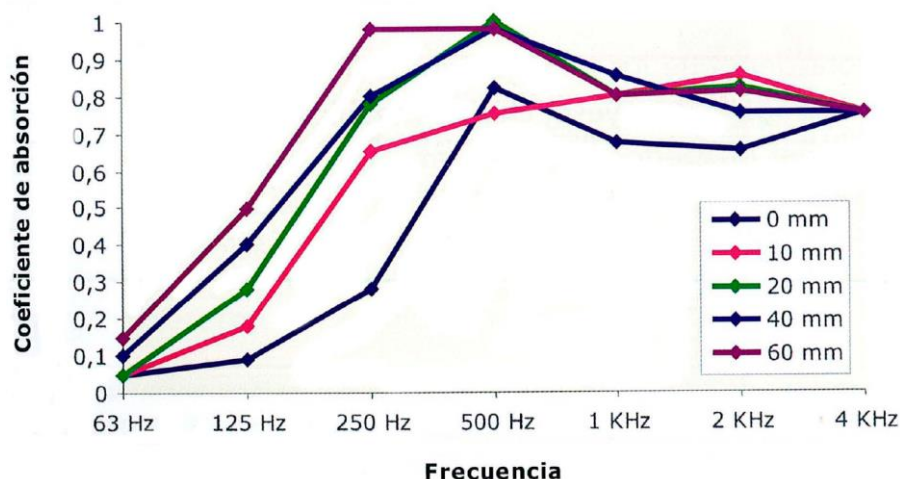


Gráfico 6.f. Comparativa de coeficientes de absorción de un material poroso según distancia de colocación a la superficie base. Fuente [2] Guía acústica.

En resumen, se puede decir que los materiales absorbentes porosos generan una importante absorción en el rango de altas frecuencias, incrementando sus valores por el aumento de su espesor y dependiendo de la distancia al paramento que trasdosan. Su densidad no es tan influyente como comúnmente se cree.

En cuanto a su ubicación en el local, lo más útil es colocarlos fuera del alcance de las personas, en paramentos poco accesibles, pues como elementos de superficie blanda, se ensucian o degradan con el roce y su limpieza es complicada. Es importante conocer, en este sentido, el revestimiento con el que estos productos se presentan habitualmente para su comercialización, debido a que algunos de ellos, con el tiempo, desprenden partículas que pueden influir en la calidad del aire, y la presentación estética de otros no es adecuada para determinado ambiente. Este revestimiento puede ser de dos clases: poroso e impermeable al sonido. Si el **revestimiento es poroso** (por ejemplo, pintura con pistola, tela o velo mineral transparente al sonido), no presenta oposición importante al paso del aire, por lo que los valores de absorción del material base no resultan modificados, prácticamente. En cambio, los **revestimientos impermeables** (láminas plásticas o metálicas) modifican sustancialmente el espectro acústico del absorbente que protegen, sobre todo, a partir de ciertas frecuencias.

Santiago Valero Granados [3] resalta las siguientes variedades dentro de los materiales absorbentes porosos, fibrosos y textiles:

- Materiales fibrosos, que son las lanas minerales (lana de roca, fibra de vidrio, espuma de poliéster) y vegetales, con capacidad de absorción en función de su resistividad al flujo del aire, espesor, grado de porosidad y textura. Para acondicionamiento, suelen presentarse revestidos por velos ignífugos, presentándose solos ó en cámaras de los otros dos tipos de sistemas absorbentes.
- Fibras de madera, aglomeradas con ligante hidráulico (cemento ó magnesita).
- Textiles (tapizado de mobiliario, telas con foam ó muletón, moquetas, alfombras, cortinas).

- d) Espumas de poliuretano, presentados con superficie lisa o con irregular (crestas repetidas).
- e) Morteros proyectados, con un ligante (por ejemplo yeso) y un absorbente ligero (por ejemplo vermiculita) aplicados a chorro en pequeños espesores, con la ventaja de su aplicación continua en elementos de difícil acceso, pero con el inconveniente de que los coeficientes de absorción no son muy altos. La absorción sonora se produce por los huecos que se generan entre las partículas del agregado, confiriendo cierto grado de porosidad.
- f) Aglomerados de piedras naturales, compuestos por piedras naturales trituradas, de granulometría pequeña, aglomeradas con resinas sintéticas, conformando paneles delgados.
- g) Elementos independientes (baffles y cilindros suspendidos, mamparas, objetos).

De todos estos se hablará en los siguientes apartados de sus presentaciones comerciales.

Las cortinas suelen influir bastante en la acústica de un local por ocupar grandes superficies en relación con el local, pero no todas las cortinas tienen los mismos coeficientes de absorción. La densidad superficial influye en estos, siendo bajos en el caso de los estores y cortinas semitransparentes (visillos). Cuanto más densidad superficial y más superficie ocupan por metro lineal, mayor eficacia tienen a bajas frecuencias. También influye la distancia a la que se colocan del paramento o ventana más cercana.

6.3.1.1 Las lanas minerales: lana de roca y fibra de vidrio.

Los materiales absorbentes porosos más utilizados en construcción, tradicionalmente, han sido la **lana de roca y la fibra de vidrio**, que son productos filamentosos naturales obtenidos por un proceso industrial: la materia pasa por unos diminutos orificios de un sistema rotatorio que gira a gran velocidad y que genera unos hilos finos flexibles que al enfriarse, se entrelazan entre sí por medio de una resina termo-endurecible, formando una malla que mantiene el aire en estado inmóvil. La diferencia entre la lana de roca y la fibra de vidrio es que la materia de la primera es roca de basalto molida y fundida, y en la segunda, arena silíceo. Esta estructura permite conseguir productos muy ligeros con alto nivel de aislamiento térmico, absorción acústica y resistencia contra el fuego.



Figura 6.e. Lana de roca (izquierda). Fuente: www.rockwool.es; Fibra de vidrio (derecha). Fuente: www.isover.es

Sus propiedades más destacables son:

- a) Aislamiento térmico: gracias al aire inmóvil que retienen en su interior, dificultan el flujo de calor. En este caso se comportan como cualquier otro material aislante térmico.
- b) Aislamiento acústico: los filamentos que componen las lanas minerales tienen estructura elástica y porosidad abierta, lo que supone alta capacidad de amortiguación y absorción de la energía acústica causante del ruido.
- c) Protección contra el fuego: los materiales que componen las lanas minerales son incombustibles por ser inorgánicos y capaces de mantener sus propiedades a altas temperaturas. Por ello, ni arden ni permiten que se desarrollen los incendios.

Por su estructura flexible, se presentan en manta, o también pueden aparecer en borras.

La densidad del sílice es más baja que la del basalto y, por ello, las lanas de vidrio son más ligeras a igualdad de espesor. Ninguna de las dos es cancerígena de acuerdo con la nota Q de la Directiva 97/69 CE, evidenciándose mediante la certificación EUCB que disponen los fabricantes.

El color de la lana de roca es más verdoso o marrón, mientras que el de la fibra de vidrio es más amarillo, aunque últimamente están saliendo al mercado fibras de vidrio con un color más oscuro.

En la construcción se utiliza muchísimo este material, porque debido a sus características, su comportamiento en edificación es muy bueno. El volumen de negocio es tal que incluso existe una Asociación de Fabricantes Españoles de Lana Mineral (AFELMA) que reúne a muchas de las empresas del sector. Y es por ello que desde AFELMA tratan a los dos materiales indistintamente, sin resaltar diferencia alguna, englobándolos en el nombre de lana mineral.

En realidad ambos materiales son muy parecidos, y es tal la presión del mercado que no se encuentran estudios comparativos en cuanto al comportamiento térmico y acústico. Sí parece estar claro que el comportamiento contra el fuego es prácticamente el mismo.

En la actualidad hay una tendencia a denominar a la fibra de vidrio como lana de vidrio, lo que crea recelo entre los fabricantes de lana de roca, dándoles pie a fundamentar el motivo en que realmente el comportamiento de la lana de roca es mejor, y el cambio de nombre es tan solo para crear confusión.

Recientemente, hemos asistido a la aparición de otras fibras de origen vegetal, que actúan también como absorbentes acústicos en cámaras de tabiques o trasdosados de entramado autoportante o techos de aislamiento, que son ignífugas, inatacables por insectos y roedores, transpirables e insensibles a la humedad (evitando así la aparición de condensaciones y la degradación), comercializadas en los mismos formatos que las minerales, cumpliendo con los más exigentes requisitos ecológicos.

6.3.2 Resonadores de membrana.

Un panel poco rígido y no poroso situado a determinada distancia de un paramento entra en resonancia cuando inciden sobre él las ondas acústicas, como respuesta a la excitación producida,

atenuando las **bajas frecuencias**, donde los materiales porosos son poco eficaces y los resonadores de Helmholtz tendrían dimensiones demasiado grandes.

El funcionamiento es el siguiente: imaginemos un tablero flexible (por ejemplo, de madera o yeso laminado) fijado a un bastidor de madera y colocado en un local a determinada distancia de una pared (figura 6.f). Al activar una fuente sonora pone en vibración el tablero (movimiento oscilatorio), unas veces abombándolo de manera microscópica hacia fuera y otras hacia dentro, y así sucesivamente. El panel posee una cierta elasticidad y la capa de aire que se encuentra en la cámara actúa como un resorte, favoreciendo el retorno del panel a su posición inicial. Una parte de la energía sonora incidente se transforma en energía mecánica y calorífica, debido a los movimientos y rozamientos internos de deformación. También, se absorbe energía en la cámara trasera debido al rozamiento de las moléculas (de aire).

La máxima absorción se alcanza en la frecuencia de resonancia del panel (f_0), dada por la siguiente fórmula:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}}$$

Ecuación 6.a

donde:

f_0 = frecuencia de resonancia o de máxima absorción del panel (Hz).

m = densidad superficial de la placa o hoja (kg/m^2), o sea, densidad volumétrica por espesor (d').

d = separación respecto a la superficie de la base.

NOTA: Esta expresión es aplicable cuando $d' \leq 20$ mm y la distancia entre puntos de sujeción ≥ 80 cm.

En el caso de instalar un material absorbente en la cámara, el numerador de la fórmula es 50.

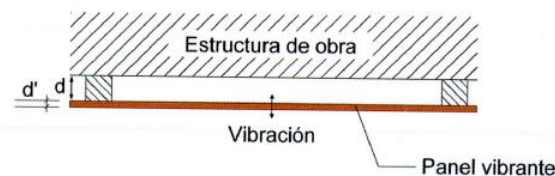


Figura 6.f. Panel resonador. Fuente [2] Guía acústica.

Se observa que aumentando la distancia entre panel y muro, f_0 disminuye. Esta depende, además, de otros factores como la separación entre las sujeciones del panel (a mayor separación, menor frecuencia de resonancia del panel). Se recomienda que el panel resonador presente unas dimensiones tales que su lado mayor sea del orden del 25% de la longitud de onda correspondiente a la frecuencia de resonancia, f_0 .

El valor máximo del coeficiente de absorción de estos sistemas en las frecuencias de resonancia suele estar entre 0,50 y 0,60.

Se puede crear un **sistema absorbente mixto** si colocamos material absorbente poroso sobre la superficie de un resonador de membrana. Esto aumenta el coeficiente de absorción, aunque también

aumenta el rango de frecuencias, por lo que esta máxima absorción no es ya tan selectiva, como puede verse en el gráfico 6.g que contienen dos curvas de absorción de una estructura resonadora de este tipo: una con cámara de aire trasera vacía y otra con absorbente poroso.

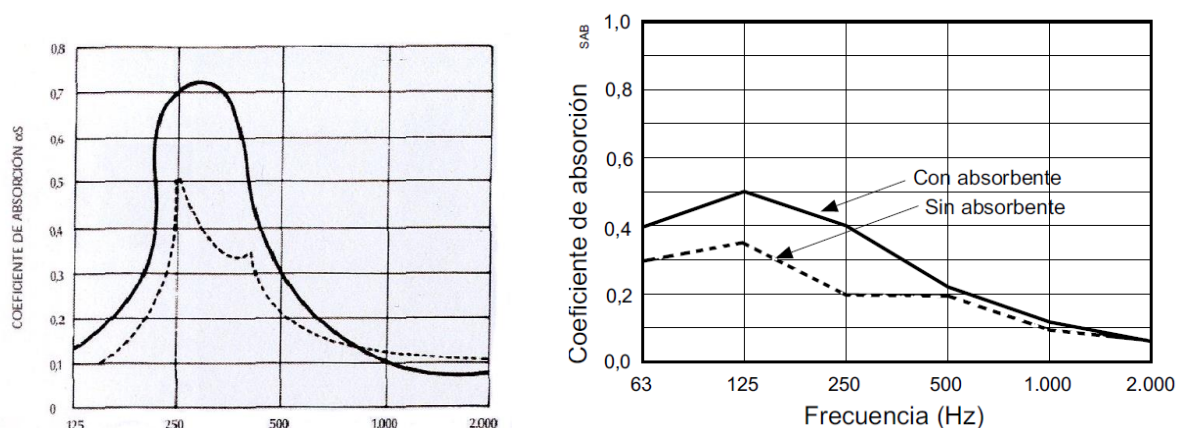


Gráfico 6.g. Coeficiente de absorción de un resonador de membrana con y sin absorbente en la cámara. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Estos sistemas resonantes pueden disponer de cámara trasera de espesor variable, con secciones en dientes de sierra o semicilíndricos, con lo que el margen de la frecuencia de eficacia se amplía, pero rebajando su valor de absorción. La ventaja es generan difusión sonora adicional, sobre todo, a medias y bajas frecuencias.

Los sistemas resonadores de membrana se realizan con tableros lisos de madera sujetos por elementos elásticos a rastreles ocultos. La naturaleza de los tableros no influye mucho en su eficacia (madera maciza, DM, MDF, tablex, contrachapado, fenólico, aglomerado) (figura 6.g), solo su espesor y densidad. El tipo de acabado (natural, barniz, laca, tinte, esmalte, rechapado, plastificado, melamínico) tampoco afecta a su frecuencia de resonancia o coeficiente de absorción.

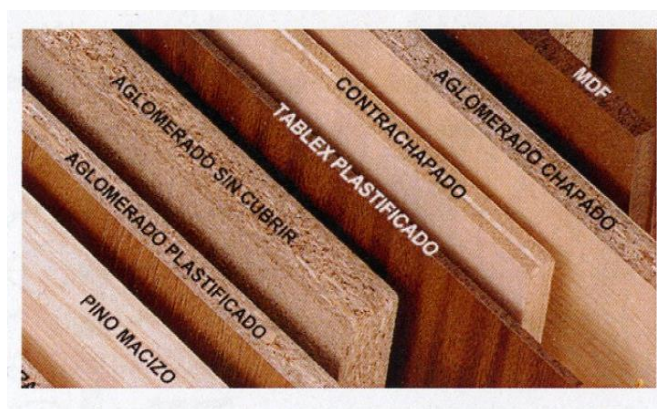


Figura 6.g. Distintos tipos de tableros usados en los resonadores. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Ya que normalmente son realizados en obra, no existen productos comerciales específicos, pero algunos fabricantes de productos acústicos, tienen soluciones que cumplen esta función, en forma de kit, cajones y hasta cilindros huecos de madera.

6.3.3 Resonadores de Helmholtz o de cavidad.

El principio de básico de funcionamiento es una cavidad llena de aire, con una abertura, relativamente pequeña en comparación con la cavidad, al exterior. Podría equipararse a la forma de una botella con su cuello. Es un sistema masa-muelle, la masa es el aire del cuello de la cavidad y el muelle, el aire contenido en el volumen (figura 6.h). La absorción del sonido se consigue transformando la energía acústica en energía mecánica (perdiéndose en calor debido al rozamiento del aire sobre las paredes del cuello).

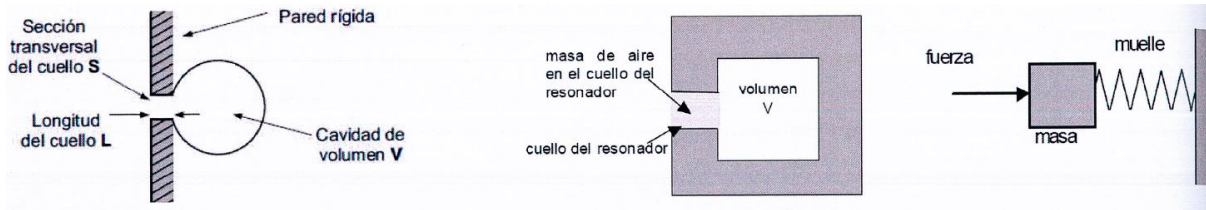


Figura 6.h. Resonador de Helmholtz o de cavidad. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

La onda sonora llega a la abertura y desplaza la masa de aire del cuello, la que a su vez comprime el aire del interior del resonador. Se producen dos fenómenos distintos: una vibración debida a la acción combinada de la masa y del sonido del resonador, y otra vibración debida a la sucesión de ondas de depresión y de presión sonoras.

La frecuencia de resonancia viene dada por la expresión:

$$f_0 = 5480 \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}}$$

Ecuación 6.b

donde:

f_0 = frecuencia de resonancia o de máxima absorción del panel (Hz).

S= la superficie del cuello (cm^2).

L= la longitud del cuello (cm).

V= el volumen de la cavidad (cm^3).

Actualmente la aplicación práctica y comercial de un resonador de Helmholtz se realiza en los denominados **resonadores acoplados o de cavidad múltiple**, que están formados por un conjunto de resonadores simples agrupados en un solo elemento. Su aplicación práctica es como panel perforado o ranurado (figura 6.i), situado a cierta distancia de un cerramiento rígido, y como silenciadores acústicos, en conductos.



Figura 6.i. Resonador de cavidad múltiple en falso techo. Fuente: propia.

Una estructura de este tipo presenta una elevada absorción para la frecuencia de resonancia, pero su banda efectiva resulta limitada. Para compensar este fenómeno, se puede colocar en la cavidad materiales absorbentes porosos.

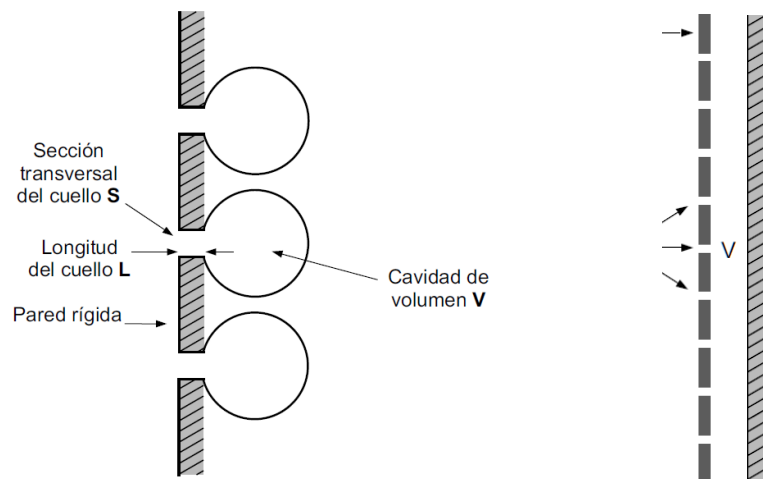


Figura 6.j. Resonador de cavidad múltiple. Fuente [3] *Acústica aplicada al interiorismo*.

Para aplicar la fórmula de obtención de la frecuencia de resonancia a un panel perforado o ranurado, la "S" haría referencia al porcentaje de perforación (%), información ofrecida por el fabricante, la "L" sería el espesor del panel (m) (figura 6j) y "V" el espesor de la cámara de aire trasera (m)

Hay muchos condicionantes que influyen en el coeficiente de absorción de estos sistemas: la naturaleza y el espesor del panel resonador y la cámara tras él; la forma, tamaño y disposición de las perforaciones; el tipo de montaje; el material absorbente poroso de la cámara; y por último, su índice (porcentaje, %) de perforaciones.

La frecuencia de resonancia de estos paneles perforados también puede consultarse en ábacos (gráfico 6.h). Los valores se exponen en función del espesor de placa, el porcentaje de perforación y el espesor de la cámara de aire.

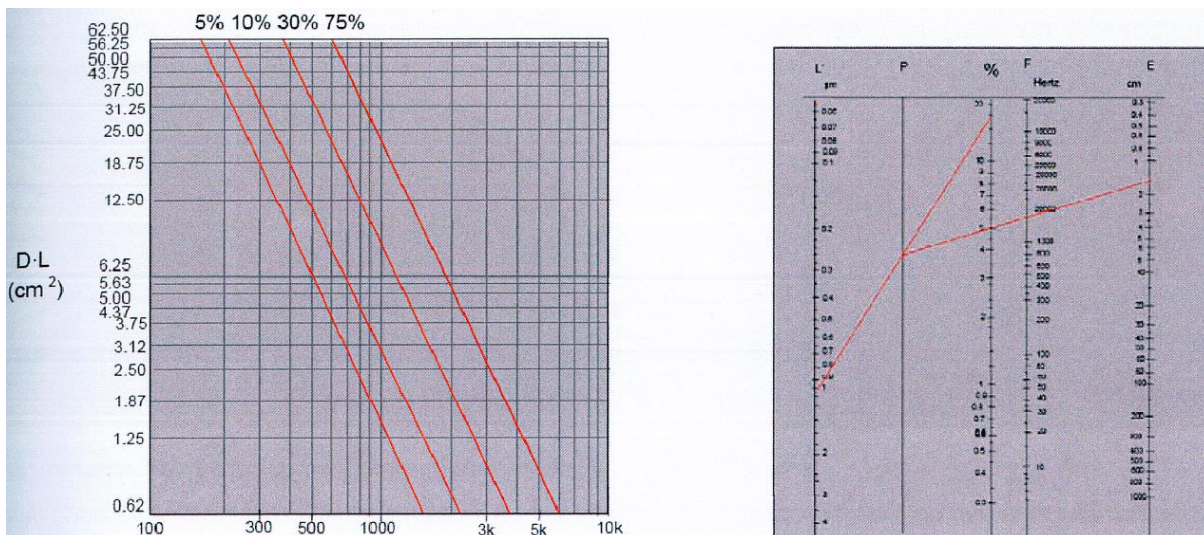


Gráfico 6.h. Ábacos para consulta de las frecuencias de resonancia. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

La característica más salientable de estos resonadores es que se consigue un elevado grado de absorción en la gama de **medias frecuencias** con espesores limitados, Como en el caso de los de membrana, el absorbente poroso de la cámara aumenta el rango de frecuencias de aplicación (menos selectivo), pero disminuye el valor máximo de absorción.

En caso de complementarlo con un material poroso en la cámara, la ubicación de este (junto al panel perforado o junto al paramento que trasdosa) también influye en la forma de la curva de absorción, como se ve en el siguiente gráfico 6.i, si el absorbente poroso va inmediato detrás del panel (falsos techos), la curva de absorción se suaviza, ampliando su ancho de banda de actuación, siendo menos selectiva y rebajando el valor máximo de absorción.

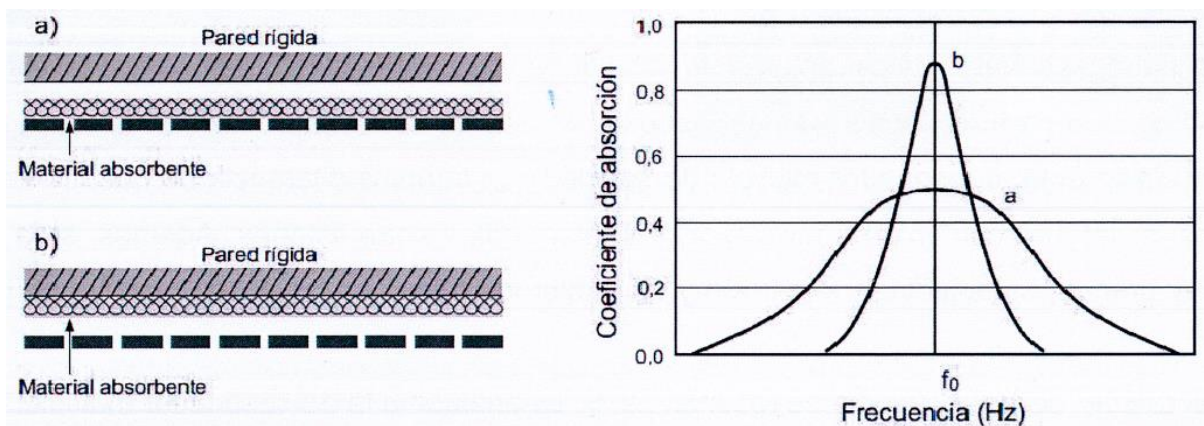


Gráfico 6.i. Curva de absorción de un resonador de cavidad según la colocación del material absorbente en la cámara. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Este tipo de paneles los hay en distintos materiales (madera, yeso laminado, metal, escayola) y tipos de perforación (circular, cuadrada, ranurada) (figura 6.k), así como gran variedad de composiciones y texturas. Cuando el tamaño de los agujeros es muy pequeño (<2 mm), se denominan microperforados.



Figura 6.k Resonador de cavidad múltiple con perforación en ranuras cortas. Fuente: www.soloarquitectura.com

Una variedad de este sistema son los **sistemas de resonadores lineales, de lamas o enlistonado** (figura 6.l), pues su comportamiento es como un resonador múltiple de cavidad. Está formado por elementos lineales (lamas, listones) equiespaciados y montados a cierta distancia de un paramento rígido. Como en el caso del de Helmholtz, se pueden complementar con materiales absorbentes porosos tras ellos para ensanchar el rango de frecuencias para las que es eficaz.



Figura 6.l. Falso techo enlistonado. Fuente: www.woodsound.net

Según Santiago Valero Granados [3] las características de este tipo de sistemas son las siguientes:

- a) Si la anchura de listones (canto) es excesiva respecto a la separación entre ellos, el comportamiento es más parecido a un resonador de membrana, con eficacia a bajas frecuencias, siempre que los listones o lamas sean lo suficientemente delgados.
- b) Con porcentajes de superficie abierta (distancia entre elementos consecutivos) por encima del 80%, y suficiente espacio trasero o menor pero con absorbente poroso, el sistema tiende a comportarse como este último, con eficacia a altas frecuencias.

- c) Al rellenar parcial o totalmente la cavidad de aire con material absorbente poroso, la curva de absorción se suaviza ampliando el rango de frecuencias, pero el valor máximo de absorción a la frecuencia de resonancia (f_0) disminuye. Si este absorbente poroso se sitúa inmediatamente detrás de los listones, la absorción aumenta en un mayor rango de frecuencias (curva más amplia), pero de valores menores.
- d) También puede conseguirse una curva de absorción menos selectiva variando la distancia entre listones consecutivos, o entre ellos y el paramento más cercano.

Los sistemas de resonadores lineales de estructura periódica tienen también una frecuencia de resonancia propia (la de máxima absorción) calculada en función de la separación entre listones, espesor de éstos (figura 6.m) y el volumen de la cavidad de aire tras ellos. Además, si la separación entre elementos no es muy grande, su estudiada repetición y su grosor les hacen incrementar ligeramente la difusión sonora en espacios pequeños.

La expresión para el cálculo de su frecuencia de resonancia (f_0), sale de la ecuación 6.b del resonador múltiple considerando una longitud de 1 metro:

$$f_0 = 5002 \sqrt{\frac{r}{D \cdot d(r + w)}}$$

Ecuación 6.c

donde:

f_0 = frecuencia de resonancia o de máxima absorción del panel (Hz).

r = separación entre listones (cm).

w = anchura del listón (cm).

D = grosor de un listón (cm).

d = distancia de listón a pared (cm).

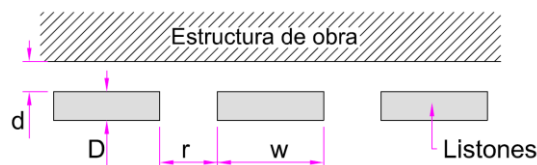


Figura 6.m. Sección transversal de un sistema resonador lineal. Fuente: elaboración propia.

Las posibilidades visuales de diseño de este tipo de sistemas es enorme, pudiendo, dentro del mismo paño, alterar las distancias entre listones, el canto o ancho de éstos, su longitud, etc.

Estas soluciones se aplican en múltiples formatos (falsos techos, elementos individuales suspendidos, trasdosados o revestimientos continuos de paredes, etc.). Su función es, sobre todo, de corrección acústica, pero en numerosos casos aportan un plus estético y vanguardista al espacio donde se aplican, además de poder integrar en ellos instalaciones, y, en determinados modelos, desarrollar además, otras funciones (por ejemplo de luminaria indirecta o candileja).

6.4 Absorbentes porosos, fibrosos y textiles. Soluciones comerciales.

El tipo de revestimiento o falso techo absorbente para un determinado local no solo va a depender de criterios acústicos o estéticos, sino también del coste de mantenimiento de estos elementos respecto al desgaste y suciedad, que puede influir, tanto en el deterioro de la imagen visual, como en las condiciones de salubridad o de resistencia al fuego. Es muy típica cierta suciedad en los falsos techos suspendidos en zonas expuestas a la contaminación de tráfico, o en superficies de influencia de los difusores o rejillas de sistemas de climatización o renovación mecánica del aire, así como en el perímetro de luminarias, o en zonas expuestas a humo de tabaco o a grasas en cocinas. Con el paso de los años, estas zonas requieren de una actuación sobre su superficie exterior. Estos tratamientos no deben modificar las propiedades de origen del material, tanto acústicas como ignífugas.

Por todo esto es interesante conocer, además de los coeficientes de absorción acústica del producto colocado, información adicional sobre su reacción al fuego, emisión de formaldehído, resistencia a la flexión, resistencia al desgaste o a golpes, aislamiento térmico, limpieza y mantenimiento. Todo esto deberá venir reflejado en la ficha de características técnicas del material que se comercializa (figura 6.n).

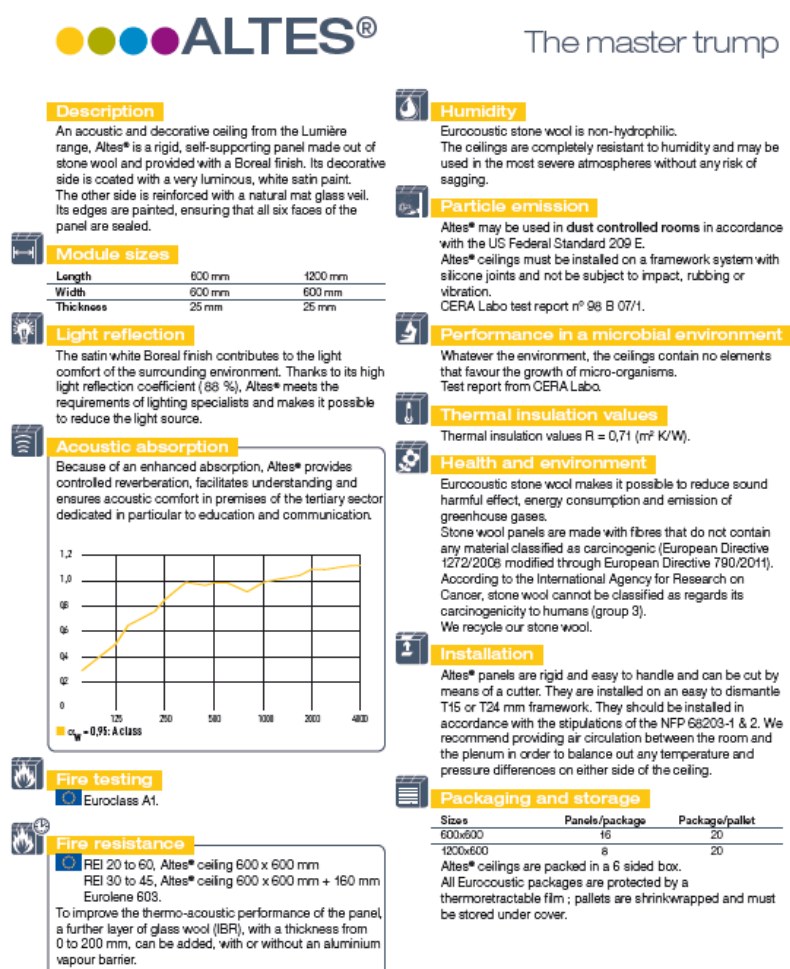


Figura 6.n. Ficha de características técnicas de un producto comercial. Fuente: www.eurocooustic-tendance.com

A continuación iremos revisando cada paramento que pueda requerir un tratamiento acústico para ver qué soluciones comerciales existen.

6.4.1 Sistemas para falso techo.

Son los más recurridos, pues es donde el material queda más inaccesible al desgaste, lo que soluciona gran parte de los problemas del acabado superficial. Ya hemos visto que el CTE los considera la primera opción donde poner absorbente acústico. Normalmente el falso techo se presenta suspendido continuo (otra modalidad son las unidades puntuales suspendidas), con amplia gama de materiales de constitución, diferente perfilera de sujeción y variedad en el tipo de unión entre piezas.

Los más comunes desde siempre en todo tipo de usos son los compuestos por paneles de lana de roca y de vidrio, revestidos con velo de protección. Sin embargo en bares y restaurantes no es habitual verlo porque normalmente no se les aplicaba ningún tipo de acondicionamiento acústico. Parece que la tendencia actual, con modelos de presentación más cuidada, es que la aplicación se amplíe a otras actividades (como a la hostelería) y a recintos de exigencia acústica mayor (conservatorios, salas de conferencia, auditorios, teatros).

El recuerdo visual de un falso techo es la forma cuadriculada de su perfilera y las losetas que en muchos casos se veían desencajadas. Pero esto ha evolucionado mucho perfeccionando los criterios formales: las dimensiones, la geometría, la textura, el color y tono, la uniformidad o variedad, el comportamiento ante la luz, aportando cada uno su toque a la impresión final, lo que hoy se aprecia mucho en los locales que nos ocupan, habiendo siempre una pugna entre la estética y la funcionalidad. A partir de la combinación de todos estos elementos y de optar por acentuar uno u otro, surge la intención del diseño para determinado ambiente.

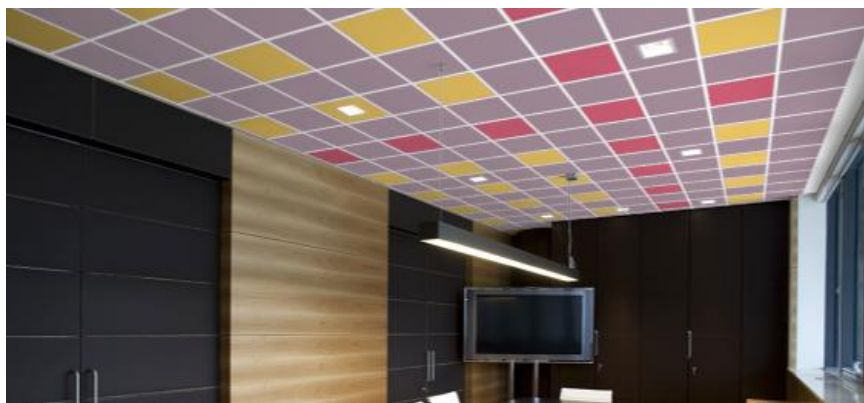


Figura 6.o. Techo absorbente con perfilera vista y losetas de colores. Fuente: www.eurocoustic-tendance.com.

Muchos fabricantes disponen de elementos accesibles en el mismo material, para zonas que deban ser registrables, que quedan suficientemente disimulados con el resto (en el peor de los casos solo identificables por una junta de separación entre ellos de anchura mayor de lo normal).

Aunque que en algunos recintos se necesitaba regular su reverberación o rebajar los niveles de presión sonora por la inteligibilidad o salud de sus trabajadores, por requerir de importantes condiciones de higiene y limpieza, se colocaban revestimientos lisos y duros, altamente reflectantes al sonido. Estos acabados evolucionaron y ahora existen soluciones absorbentes con cara vista que se limpia y lava fácilmente, permeable al aire que debe llegar al núcleo absorbente que protegen.

Existen, también, soluciones de continuidad entre revestimientos de pared y techos, en modulación (juntas marcadas) o de aspecto liso, así como múltiples diseños formales en techos (ondulados, prismáticos, horizontales, quebrados). La integración de las luminarias (figura 6.p) está perfectamente estudiada para que encaje en estos elementos.



Figura 6.p. Iluminación integrada en falso techo. Fuente: www.saint-gobain.com

Exponemos a continuación un muestrario de algunos de estos productos filamentosos o porosos, elegidos por su posibilidad de aplicación en interiorismo de bares y restaurantes, algunos comercializados solo por empresas específicas de material acústico.

6.4.1.1 Placas de virutas de madera aglomerada.

Las fibras que las forman son sometidas a un proceso mineralizante que mantiene inalterables las propiedades de la madera, anulándoles el proceso de deterioro biológico y volviéndolas inertes y muy resistentes al fuego. Estas se aglomeran con magnesita, cemento blanco ó gris, y se prensan para formar una estructura alveolar, estable, resistente y compacta. El resultado final son unas placas rígidas o semirrígidas de fibras de madera aglomerada, que dispone de buenas propiedades como aislante térmico y absorbente sonoro. Es un material fácil de manipular e instalar y no precisa mantenimiento. La mayor parte de los modelos dispone también, de buena resistencia a golpes de impacto

Tienen mayor eficacia acústica a medias y altas frecuencias, mientras que a graves la absorción depende del espesor de la pieza y, sobre todo, de su cámara trasera. Para incrementar la eficacia en este rango de frecuencias, a veces se acompañan en el plenum paneles de lana de roca o de vidrio. Existe gran variedad de acabados, colores, texturas y dimensiones. Los espesores comerciales comunes son de 15 (desaconsejable), 25, 35 y 50 mm.

Las placas que están constituidas por virutas más finas y coloreadas, presentan un aspecto más moderno y vanguardista. También podrían utilizarse como revestimiento de paredes, con (trasdosado) o sin cámara trasera.

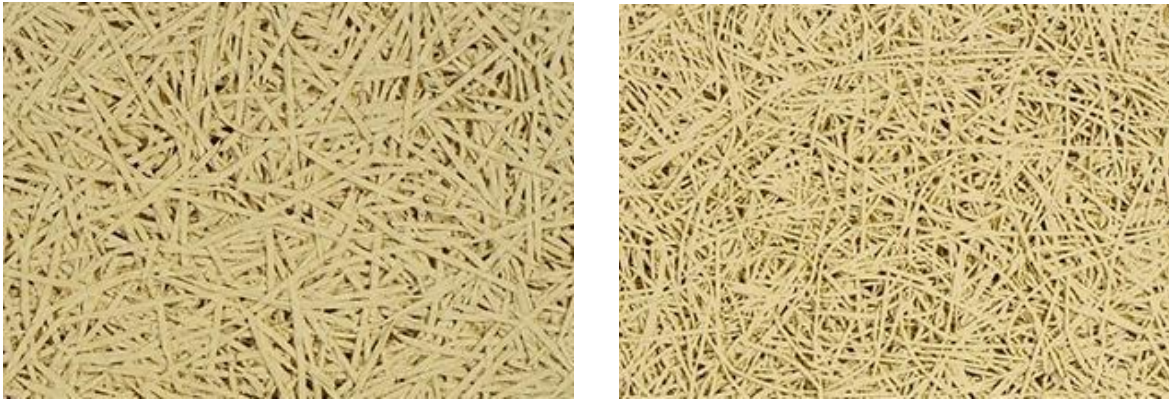


Figura 6.q. Placas de viruta de madera de distintos tamaños. Fuente: www.amfceilings.co.uk

La marca española **Maydisa** en su gama "Celenit" tiene modelos de fibras finas de madera aglomeradas con cemento, que le da un aspecto más liso y menos rústico, como los modelos "Celenit AB micro" o el "Celenit B", en 28 colores distintos.



Figura 6.r. Falso techo de losetas de virutas modelo "Celenit B". Fuente: www.maydisa.com

La empresa austriaca **Heraklith** (perteneciente a la marca Knauf Insulation) comercializa este tipo de material con su gama "Herakustik" que dispone de modelos de apariencia más rústica, como pueden ser el "Travertin micro" o el "Plano" (con coeficientes de absorción más bajos), mientras que la serie Herakdesign, del mismo fabricante, está indicada para espacios donde prime la decoración ambiental (en lo modelos denominados "Fine" y "Micro", que se comercializan en variados colores).



Figura 6.s. Falso techo de losetas de virutas modelo "Plano". . Fuente: heraklith.com

Algunas otras marcas que también disponen de este producto son **AMF** (modelos "Fibrafutura" y "Fibraphon"), **Sistemas Bal**, **Tectum** y la danesa **Troidtekt** (con distribución en nuestro país por la firma castellonense Ignisonus).

6.4.1.2 Paneles semirrígidos de lanas minerales.

Estos tienen gran variedad de usos, desde su aplicación como aislante térmico de cerramientos y cubiertas, hasta la realización de conductos en sistemas de climatización y ventilación. En cuanto a la acústica, se utilizan tanto en acondicionamiento (como absorbentes vistos o formando parte de sistemas resonadores), como en aislamiento (ocultos en cámaras de trasdosados, tabiquería seca y plenum de techos acústicos). También, en alta densidad, se usan como base elástica continua de suelos flotantes.

Las principales empresas fabricantes en nuestro país son **URSA**, **Isover**, **Rockwool** y **Knauf Insulation**, que juntas forman **AFELMA** (Asociación de Fabricantes Españoles de Lanasy Minerales Aislantes: www.aislar.com).

A continuación desgranaremos algunos de los modelos que estas y otras empresas comercializan para su aplicación en acondicionamiento acústico, colocados de forma vista (sin formar parte de sistemas resonadores).

La española **Ursa** tiene modelos de placas para techos industriales, compuesta de lana de roca con revestimiento de lámina de aluminio gofrado (P2363 Panel aluminio gofrado), muy utilizados bajo cubiertas como aislamiento térmico visto.



Figura 6.t. Loseta de falso techo modelo P2363 Panel aluminio gofrado. Fuente: www.ursa.es

La empresa multinacional **Rockwool** (filiar española Rockwool Peninsular), a través de su marca Rockfon, dispone de paneles de lana de roca revestida, en las gamas denominadas "Design White" (Rockfon Sonar, Rockfon Sonar Activity, Rockfon Sonar dB, Rockfon Alaska), "Design decoration" (Rockfon Color-all) y "Basic White" (Rockfon Pacific, Rockfon Artic, Rockfon Koral, Rockfon Tropic) para colocar con diferentes tipos de perfilaría.



Figura 6.u. Falso techo de losetas modelo Rockfon Color-all. Fuente: www.rockfon.com

A veces estos techos absorbentes de esqueleto flexible no son aptos para determinados ambientes en los que los golpes de impacto y perforaciones pueden degradarlos, por lo que existen modelos reforzados, como el "Rockfon Impact" testados ya para tal fin.

Isover, de la multinacional Saint Gobain, a través de su marca "Eurocoustic", que dispone, no solo de placas para techos, sino de paneles murales y baffles. Destacan los modelos "Fidji" y "Alize", con espesores de 25 y 40 mm. y gran variedad de colores. Modelos reforzados para resistir impactos son "Acustichoc" y "Acoustisport".



Figura 6.v. Falso techo de losetas modelo Fidji. Fuente: www.isover.es

Para grandes dimensiones tiene el modelo "Panorama" (ancho 60 cm y longitud variada, hasta 240 cm), mientras que el modelo "Atrium" se presenta en modulación 120x120 cm. También dispone de la marca Owa, de placas para techo o elementos puntuales descolgados, en lana mineral en color blanco y distintos acabados (serie "Owacoustic").

Saint Gobain también distribuye **Ecophon**, una marca de placas de lana de vidrio prensada, cuya presentación estética es muy versátil, con modelos como "Focus", "Master" y "Sombra" (sobre todo para cines).

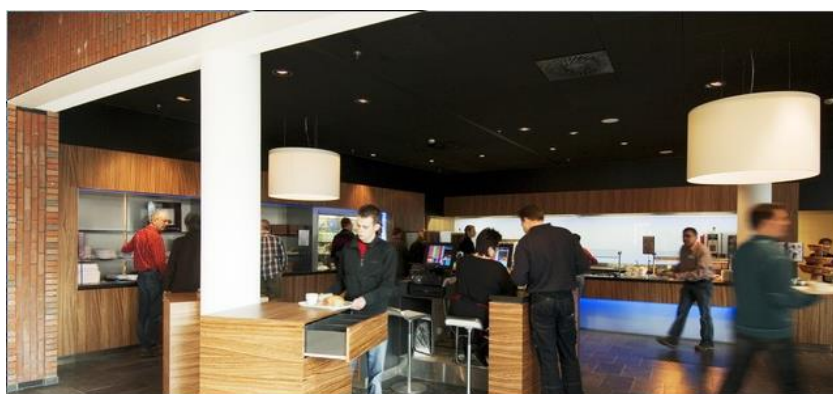


Figura 6.w. Falso techo de losetas modelo Sombra. Fuente: www.saint-gobain.com

Los espesores son de 25 y 40 mm, utilizan variada perfilaría y se ofrecen en distintos colores y cantos de placa. La superficies son de tisú fino pintado (cara visible) y tisú de fibra de vidrio (parte trasera, que admite cualquier pegamento ó cola de contacto). Una de las ventajas es su fácil colocación, manejo, corte y el hecho de que la pintura cubra, también, los cantos de las piezas. Estéticamente, son muy interesantes los de perfilaría oculta y cantos machihembrados, que pueden ir descolgados o pegados a cara inferior de forjado, presentando un aspecto global de gran continuidad. Además del formato tradicional de placa, existen dimensiones mayores, como los paneles pasillo (en longitudes de hasta 2.40 m). También, hay soluciones para espacios deportivos donde el requerimiento de resistencia al impacto es alto (modelo "Super G Plus" para techos y "Wall Panel C/Super G" para paredes). La solución de placa de accesibilidad al plenum se denomina "Access".



Figura 6.x. Falso techo de paneles pasillo. Fuente: www.saint-gobain.com

Esta marca dispone además, de soluciones para iluminación indirecta integrada y candilejas, con un cambio de nivel en la superficie del techo, como el modelo "Ecophon Wing Light" y "Ecophon Light Coffe". El modelo "Focus Fixiform" es una placa que lleva una hendidura en su cara oculta para poder plegarla en obra, en ángulos rectos y dar un aspecto más continuo en los cambios de plano. Otras soluciones interesantes de esta marca son sus soluciones curvas (modelo "Focus Flexiform") y la gama "Higiene", que se compone de placas absorbentes que repelen la suciedad y el polvo, fácilmente limpiables, aptas para ambientes de alta humedad, corrosivos o de uso hospitalario.



Figura 6.y Falso techo de losetas modelo Focus Flexiform. Fuente: www.saint-gobain.com

El alemán **AMF** (del grupo Knauf), con la gama Thermatex (modelo "Alpha", "Thermofon", "Acoustic"), entre los que, por su presentación, destaca el "SF Acoustic", para mínimas distancias a forjado, que ofrece una imagen de diseño más moderna. Interesante producto es el "Soundmosaic", que es una placa de techo que integra un altavoz plano oculto, que funciona según el principio de transmisión de ondas. La placa denominada "Beamex", para falsos techos registrables, permite integrar un video proyector oculto, que queda a la vista al descender la placa con un mando a distancia.



Figura 6.z. Junta de losetas con perfilera oculta (izquierda) y falso techo con loseta modelo Soundmosaic. Fuente: www.amfceilings.co.uk

Otra modelo con dimensiones de gran formato es el "Tech Style" de la multinacional de falsos techos **Hunter Douglas**, realizado en fibra de vidrio revestida de poliéster en color blanco, cuya versión XL ofrece piezas en gran formato (hasta 120x240 cm), creando superficies homogéneas continuas o islas (recercadas).



Figura 6.aa. Falso techo con loseta modelo Tech Style. Fuente: www.hunterdouglascontract.com

La estadounidense, **Acoustic & Sonic**, dispone de paneles absorbentes (denominados paneles decorativos y "AS") realizados en lana mineral de alta densidad revestida por tela transparente al sonido y enmarcada por cerco metálico, para colocar en techos y paredes, en diferentes diseños y 50 colores. También, tienen modelos en espuma de melamina de superficie en relieve. Además en su página web (www.acousticsonic.com) dispone de una sección para restaurantes.

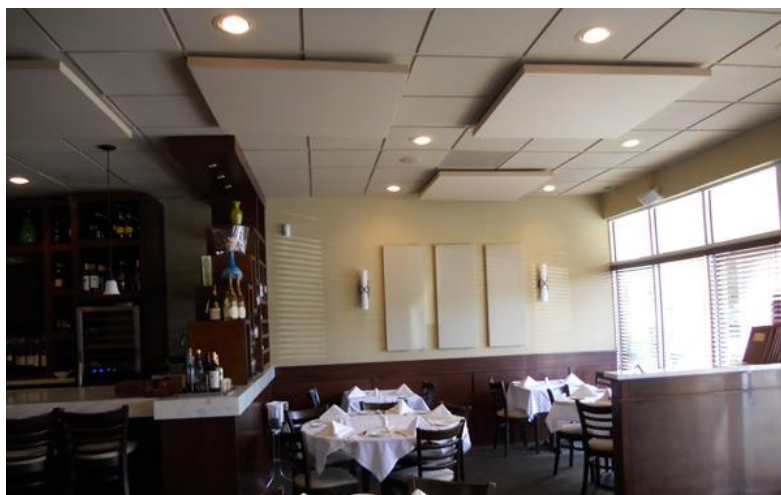


Figura 6.bb. Falso techo con losetas. Fuente: www.acousticsonic.com

6.4.1.3 Paneles blandos a la flexión (espuma de poliéster, resina de melanina, resina de poliuretano).

Estos paneles absorben sobre todo altas frecuencias y se comercializan en distintos grosores, con cara vista plana o irregular. Estas pueden tener forma prismática, repetidas de manera homogénea o aleatoria (normalmente, triángulos, crestas, ondas o cuadrados), cuya aplicación tradicional ha sido en recintos de acústica exigente (estudios de grabación, locales de ensayo, conservatorios). Los modelos de superficie plana, en placas de forma cuadrada, romboide o rectangular, empiezan a utilizarse en todo tipo de espacios. Los hay en una amplia gama de colores y es un material de fácil corte, manipulación y adaptación a cualquier superficie. Normalmente, van pegados al elemento base rígido (con lo que ocupan muy poco espesor), pero existen modelos para incorporar a perfilería tradicional de falsos techos.



Figura 6.cc. Gama de colores de paneles blandos. Fuente: www.metrasoni.es

La marca española **Metrasoni** dispone de placas de acabado piramidal (modelos "Piramidal" y "Alveolar") y un modelo original denominado "Difson", en dimensiones 60x60 cm y 3 colores, que combina elementos lineales prismáticos y curvados en su cara vista. Existe la versión para esquinas.

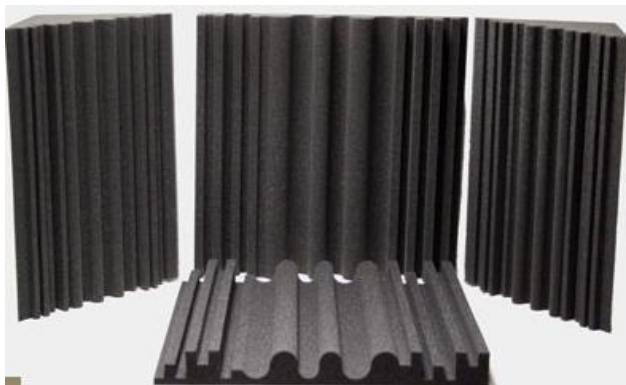


Figura 6.dd. Placas modelo Difson. Fuente: www.metrasoni.es

La marca española **EZ Acoustics** comercializa paneles absorbentes en espuma de poliuretano y fibra mineral, en superficie vista de forma piramidal (modelos "Piramidal" y "Wedges") y plana con cantos perimetrales biselados (modelo "Foam Flat"). Esta joven empresa dispone, además, de los denominados "EZ Custom Fabric Panels", piezas absorbentes, a modo de cuadros, con varias opciones en cuanto al diseño personalizado, con unas dimensiones grandes de hasta 150 x 300 cm. y variedad de grosores: 12, 25, 50, 75 Y 100 mm.



Figura 6.ee. Placas modelos: Piramidal (izquierda), Wedges (centro) y Foam Flat (derecha). Fuente: www.ezacoustics.com

Otra empresa española **Acústica Integral**, con su gama de paneles "Acustiart" que elementos para la construcción de superficies volumétricas, con lo que mejora la respuesta absorbente y tiempos de reverberación para todo tipo de locales donde las soluciones estándar no son posibles. Tiene amplia carta de colores que se pueden combinar para obtener ambientes estéticos, bellos y elegantes.



Figura 6.ff. Falso techo con paneles modelo Acustiart. Fuente: www.acusticaintegral.com

El modelo “Brisa” de esta misma marca es muy llamativo pues sobresale en volumen aumentando su superficie de absorción. Está compuesto en su totalidad de fibra de poliéster con cara vista protegida y revestimiento antipolvo, con amplia gama de colores

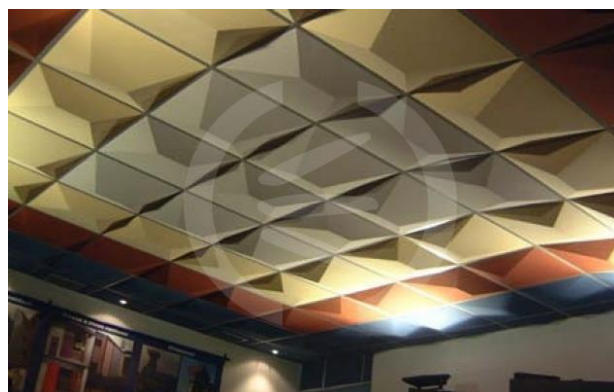


Figura 6.gg. Falso techo con paneles modelo Brisa. Fuente: www.acusticaintegral.com

Otras marcas españolas de placas de espuma absorbente ignifuga, en acabado alveolar y piramidal son: **Flexicel**, **Ucersa**, **AMC Mekanocaucho** y **Modisprem** (modelo "Pyramid", "Ondas", "Angular", "Vulcan"), aunque algunas disponen de modelos de uso exclusivo industrial.

La patente alemana **Pinta Acoustic** (anterior **Illbruck**), con su gama "Illsonic", con distribución en España a través de Porosonic ofrece sus modelos tradicionales de superficie irregular ondeada o piramidal, muy utilizados en estudios de grabación y emisoras de radio, pero otros modelos como el "Absorber Plano", "Acoustic Panel" y "Ambient", de superficie vista lisa, presentan un aspecto más minimalista, adaptable a cualquier espacio, pudiendo ir directamente pegadas a paredes o colgadas verticalmente a modo de baffles.



Figura 6.hh. Falso techo de paneles modelo Absorber Plano. Fuente: www.pinta-elements.com

La empresa portuguesa **Jocavi** tiene modelos de hasta 13 colores, unos más técnicos y otros más decorativos, como el "Convexabsorber" y "Ebony" (piezas curvadas), "Mellowalltrap", "Snowsorber" y "Anglesoftner", o, dentro de su serie más económica llamada ATP, los modelos "Cubesorb" y "Stripesorb".

La norteamericana **Auralex**, a través de su gama "Studiofoam", con modelos como el "Wedges", "Pyramids", "Metro", "DST", "AudioTile" y "VersaTile", dispone, en algunos casos, de hasta 10 colores de acabado. De gran apariencia visual son sus paneles lisos "Elite" y "SonoFlat", de bordes biselados, que ofrecen gran posibilidad de combinaciones. Un distribuidor en nuestro país es la empresa Alfasoni.



Figura 6.ii. Falso techo de paneles modelo Wedges. Fuente: www.auralex.com

6.4.2 Elementos singulares absorbentes suspendidos.

Una manera de complementar la absorción del techo en un local es con estas unidades. Esto puede ocurrir en recintos en los que el absorbente que colocamos en el techo no es suficiente, o también porque por el diseño o por mantener su estética original (por ejemplo si fuese de importante valor arquitectónico) no puede colocarse en este. El nombre de elementos o paneles singulares, o como lo

denomina Santiago Valero [3], "islas acústicas", obedece a que van colocadas de manera puntual, aislados. Esto hace que se aproveche todo su contorno como superficie absorbente. Son elementos muy ligeros por estas realizados normalmente en espuma de poliéster o melamina. Además, su utilización proporciona flexibilidad y multitud de soluciones a problemas relacionados con espacios diáfanos ruidosos, porque se pueden instalar solamente en las zonas donde más se necesita tratamiento acústico.

Se presentan en muy diversas formas, siendo la más usual en piezas planas, cuadradas o rectangulares, pero cada vez aparecen más formas en el mercado, como circular o triangular. Además, otra ventaja es que no es necesaria la demolición del falso techo existente, pues si la altura es suficiente, las islas cuelgan de aquel creando composiciones alineadas, alternas o aleatorias.



Figura 6.jj. Elementos singulares planos. Fuente: www.acusticaintegral.com

Pueden ser planos y los hay en variados espesores, pero determinadas marcas los tienen curvos y ondulados. A veces, las piezas se presentan en forma de baffles, para colocarse de canto.

Su eficacia depende de su colocación o distancia de cuelgue, ya que si es pequeña, la superficie útil de absorción es la propia cara vista pero si descuelga una cota igual o mayor que su dimensión (proyección en planta) más corta, la absorción la proporcionan las dos caras (luego, duplica su eficacia). El coeficiente de absorción es en relación a los m^2 de superficie, aunque a veces se da por unidad de objeto.



Figura 6.kk. Elementos singulares curvos. Fuente: www.acusticaintegral.com

Hoy en día ya existen muchas empresas dedicadas al diseño y fabricación de este producto. **Ecophon**, por ejemplo, dispone de estos elementos para colocar individualmente o agrupados. Son

los modelos denominados "Master Solo S", "Focus Wing" y "Edge 500", de 4 cm de grosor, con perímetro recto o achaflanado en el mismo material pintado, o cerco de aluminio, que, descolgados, ofrecen una apariencia flotante y vanguardista.



Figura 6.11. Paneles suspendidos modelo Master Solo S. Fuente: www.ecophon.com

Texaa, a través de la gama "Stereo" tiene pantallas de pared y para suspender, cuya envolvente es desmontable y lavable. El absorbente acústico está compuesto de espuma alveolar ligera con revestimiento transparente al aire, con tratamiento antimanchas y antipolvo, ofreciendo una fuerte resistencia a los roces.



Figura 6.12. Paneles suspendidos de la Gama Stereo. Fuente: www.texaa.com

La marca alemana **Pinta Acoustic** (anterior **Illbruck**) tiene la serie "Balance" que combina de una manera adecuada el diseño y la acústica. Son paneles de color blanco de espuma de resina de melamina con una estructura de aluminio y con un velo de protección en la cara vista, con dos soportes estructurales que se anclan al techo con un perfil en Z. Se colocan individualmente o agrupados. Destacan también por su singularidad las placas sinodales "Whisperwave", para colocar en techo y paredes.



Figura 6.nn. Paneles de la Serie Balance. Fuente: www.pinta-elements.com

La española **Morpa** ofrece sus paneles de la gama "Morpason Ítaca", diseñados para reducir las reverberaciones, creando ambientes acústicos y decorativos, dinámicos y relajantes. Están fabricados a base de un núcleo de fibra de poliéster, revestido con un tejido acústicamente transpirable, con un elevado coeficiente de absorción acústica y una elevada durabilidad. También tiene la gama de paneles circulares "Morpason Cloud".



Figura 6.oo. Paneles circulares suspendidos de la gama Morpason Cloud. Fuente: www.morpa.es

Otras firmas que disponen de estas islas absorbentes son la alemana **AMF** (perteneciente al Grupo Knauf), con el modelo "Sanie Sky", dentro de la gama "Thermatex" (en perfil recto, cóncavo y convexo y 5 colores) y **Rockfon** de Rockwool, con la serie "Eclipse", en lana de roca revestida y dimensiones de gran formato (180x120 y 120x120 cm) y espesores de 4 cm.

6.4.2.1 Objetos absorbentes suspendidos.

Estos son piezas de características similares a las anteriores pero que van colocadas de canto a modo de **baffles**, o pueden no ser planas, sino **cubos** que van suspendidos (también pueden ser alargados e ir colocados de canto, como veremos en el capítulo siguiente) o también cuerpos curvos como **cilindros**, suspendidos en horizontal o vertical, o **troncos de cono**. Tienen la ventaja de que, si se colocan lo suficientemente separados, dejan entrever el resto de elementos superiores de techo, con lo que no influye mucho en el diseño del recinto.



Figura 6.pp. Baffles (izquierda) y cilindro (derecha) absorbentes. Fuente: www.pinta-elements.com

Pueden aplicarse, también, cuando no se puede ejecutar un falso techo absorbente continuo por existir lucernarios u otros elementos estéticos que quieren respetarse.

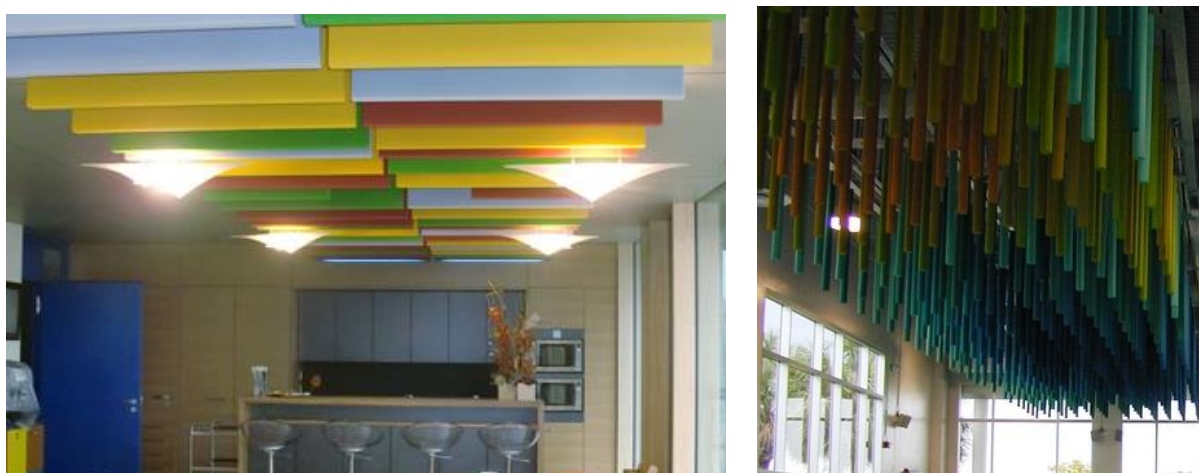


Figura 6.qq. Baffles (izquierda) y cilindros alargados (derecha) absorbentes suspendidos. Fuente: www.pinta-elements.com

La marca portuguesa **Jocavi**, De gran aspecto estético es el modelo de baffle "Mellowaffle" de especializada en paneles acústicos, en gama de hasta 12 colores, y sus cilindros absorbentes "Tubabsorber".



Figura 6.rr. Cilindro absorbente suspendido en horizontal. Fuente: www.grupo.jocavi.net

Ya hemos nombrado antes la gama "Stereo" de **Texaa**, pues también ofrece baffles para suspender. Esta también es pionera en diseño de objetos prismáticos absorbentes a través de su gama "Abso", de cajas, cubos, tótems, conos, cuyo absorbente acústico es una espuma alveolar envuelta por textil transparente al aire, desmontable y lavable, con tratamiento antimanchas y antipolvo, ofreciendo una fuerte resistencia a los roces y desgarres.

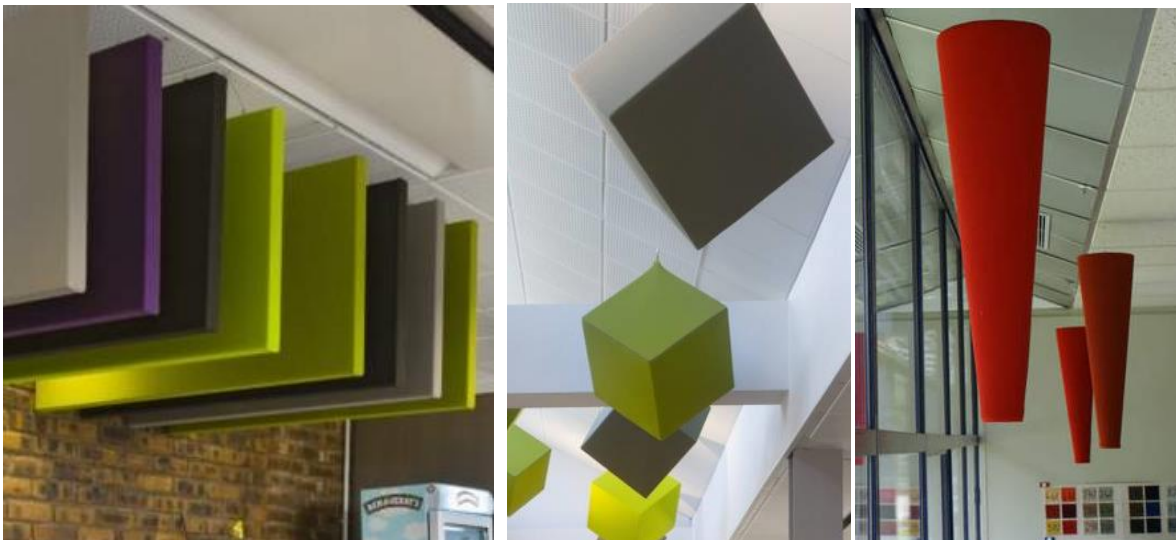


Figura 6.ss. Baffles (izquierda) gama Stereo y cubos y conos (derecha) gama Abso suspendido. Fuente: www.texaa.com

Muchas firmas disponen de baffles y cilindros absorbentes como: **Tecno Spuma**, modelo "Tecno-quash", **Pinta Acoustic** series "Sonex Baffles", "Whisperwave baffles" y "Absorber Rondo", **Rockfon**, modelo "Rockbaffle", **Acustica Integral** modelo "Acustibaf", **Iac-Stopson**, **AMF**, **Euroacoustic**, modelo "Eurobaffles", **Modisprem**, **Ecophon**, modelo "Master Baffle", **Inasel**, mododelo "ABR Modules").

6.4.3 Revestimientos de paredes.

Es posible que el techo no tenga la superficie suficiente para la instalación del acondicionamiento acústico necesario, o bien que se descarte actuar sobre él, bien por el diseño o por mantener su estética original por ser, por ejemplo, de importante valor arquitectónico.

Es en estos casos cuando recurrimos a los revestimientos absorbentes verticales, pues pueden proveer de suficientes unidades de absorción a determinado espacio, siempre tomando muchas precauciones por donde se sitúan, así como exigiendo a estos requerimientos de resistencia al desgaste, al estar, en algunas ocasiones, al alcance del usuario. Su aplicación puede ser continua o puntual, resuelta mediante los llamados **paneles murales absorbentes**.



Figura 6.tt. Panel mural absorbente. Fuente: ecophon.com

En este tipo de materiales también se distinguen entre los de esqueleto rígido (trasdosados) y los blandos a la flexión (que se colocan pegados). La mayor parte de fabricantes de piezas para falsos techos disponen de estos modelos murales, incluso en muchos casos el mismo material puede aplicarse en ambas superficies.

También cada vez más se utilizan las **celosías** rígidas acompañadas de material absorbente poroso o fibroso, en diseños personalizados. Su aplicación, hasta ahora, ha sido eminentemente estética, pero empiezan a ser utilizados para la corrección acústica.

El comportamiento de estas lo determina el porcentaje de hueco abierto: si es bajo y predomina la zona opaca, se comporta acústicamente como un resonador de Helmholtz (similar a los perforados), pero si la parte abierta es grande y existe material absorbente poroso trasero, su eficacia de absorción se produce a altas frecuencias, porque predomina el efecto del absorbente posterior.

6.4.3.1 Esqueleto rígido.

Hay empresas españolas que disponen de este material como **Metrasoni** (modelo "Metraplac") y **Plasfi Chemical** (marca Plasonic), en piezas de dimensiones 60x60 y 70x70 cm, y espesores 10, 15 y 20 mm.



Figura 6.uu. Placas modelo Metraplac. Fuente: www.metrasoni.es

Ecophon, tiene el sistema "Wall Panel" (variantes A y C), a base de placas de fibra de vidrio de alta densidad protegidas, para colocar de manera continua entre suelo y techo o de manera puntual. Dispone de diferentes colores y dimensiones 120x270 cm, la variedad "A" se coloca con perfilería vista, mientras que en la "C", de cantos biselados, la perfilería queda oculta. La repetición de estos elementos modulares en distintos colores permite crear composiciones de gran valor estético.



Figura 6.vv. Paneles modelo Wall Panel A de perfilería vista. Fuente: ecophon.com

Un panel similar es el modelo "Soundsoak" de la multinacional **Arsstrong**. Son plafones que se colocan mediante lengüetas postizas ocultas, con remate de acabado perimetral mediante molduras de plástico.

La marca alemana **Pinta Acoustic** (anterior Illbruck), con distribución en España a través de Porosonic, dispone del panel rígido "Phonestop" compuesto de reciclado de vidrio (granulado ligero

de vidrio hinchado), con posibilidad de uso, también, en exteriores. Es incombustible, ligero, insensible a la humedad, resistente (apto para recintos deportivos). Su color original es gris pero se puede pintar mediante técnica con pistola. Las piezas tienen un grosor de 50 mm (aunque existe la versión "E", de 25 mm). El formato estándar es de 62x62 y 62x125 cm. Normalmente, se coloca marcando las juntas pero existe un procedimiento para ofrecer imagen de paños continuos mediante la aplicación de una capa de imprimación posterior que disimula las juntas (y no afecta a su rendimiento acústico).

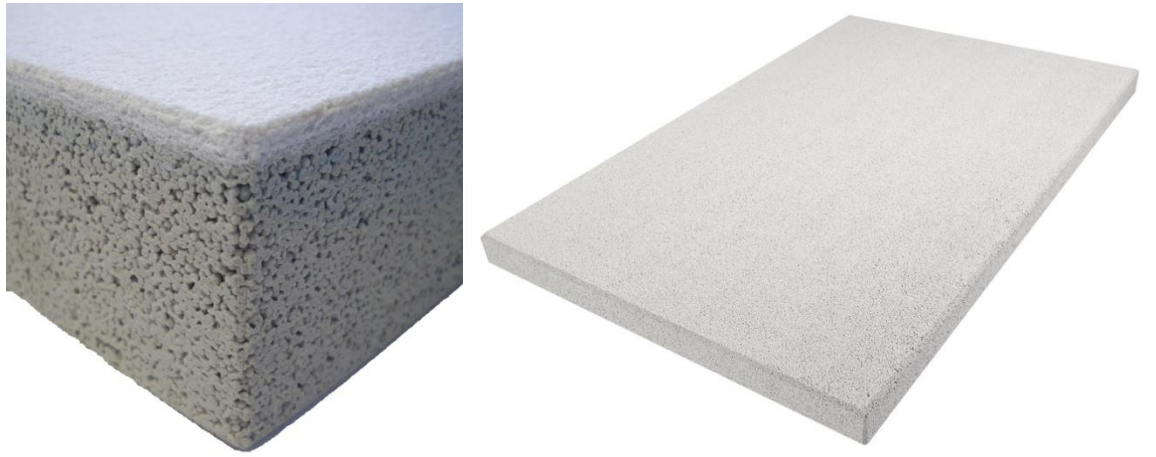


Figura 6.ww. Paneles modelo Phostop. Fuente: pinta-elements.com

Las placas pétreas porosas decorativas son un material interesante en interiorismo por su belleza estática. Son piezas delgadas rígidas compuestas por una base mineral de conglomerado de mármol, cuarzo y arlita, que se aglutinan mediante un producto ligante, que permite controlar la granulometría del conjunto. En su interior quedan microespacios que permiten a la placa actuar como un resonador acústico a múltiples frecuencias, ampliando y aplanando el espectro de absorción.

Existen también mármoles naturales que son porosos y podrían realizar esta misma función con un espesor y colocación adecuados, por ejemplo el mármol travertino en diversas tonalidades.

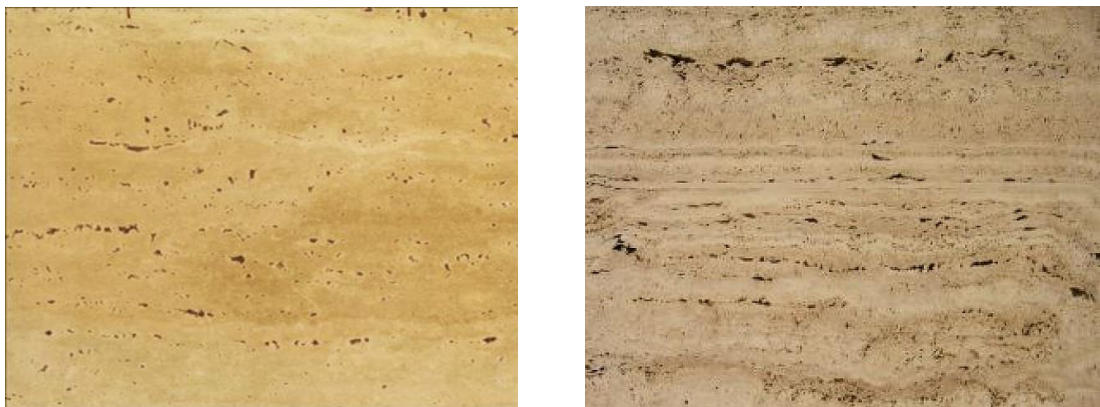


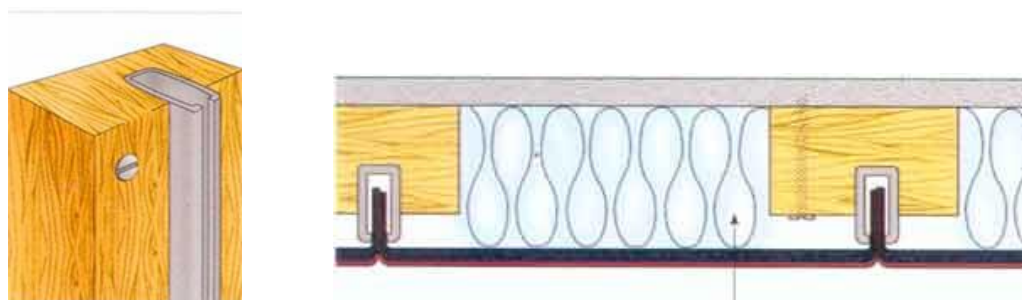
Figura 6.xx. Mármol travertino. Fuente: propia.

6.4.3.2 Esqueleto flexible.

La firma española **Calica** ofrece en el modelo "Kalisonic" un absorbente poroso ignífugo realizado a base de espuma microcelular abierta, recubierta por un tejido alveolar poroso, en variados acabados y colores. Los espesores van desde los 8 a 23 mm, siendo el estándar de 13 mm. Va encolado a la superficie a tratar mediante cola unilateral. Las uniones se realizan mediante juntas con perfiles de remate, con sistema clipado o tapicero.



Para incrementar el índice de absorción, se instala este material tensado (sobre perfilillos encastrados en rastreles de madera maciza), sobre material absorbente poroso (figura 6yy).



Existe la variante "Kalisonic-M", que son paneles modulares más rígidos, con cerco perimetral para su colocación puntual.

La empresa **Acústica Integral** dispone de "Acustideco", en fibra de poliéster revestida con tejido (en hasta 18 colores diferentes), presentado en 25 mm de espesor y dimensiones grandes (120x270 cm).

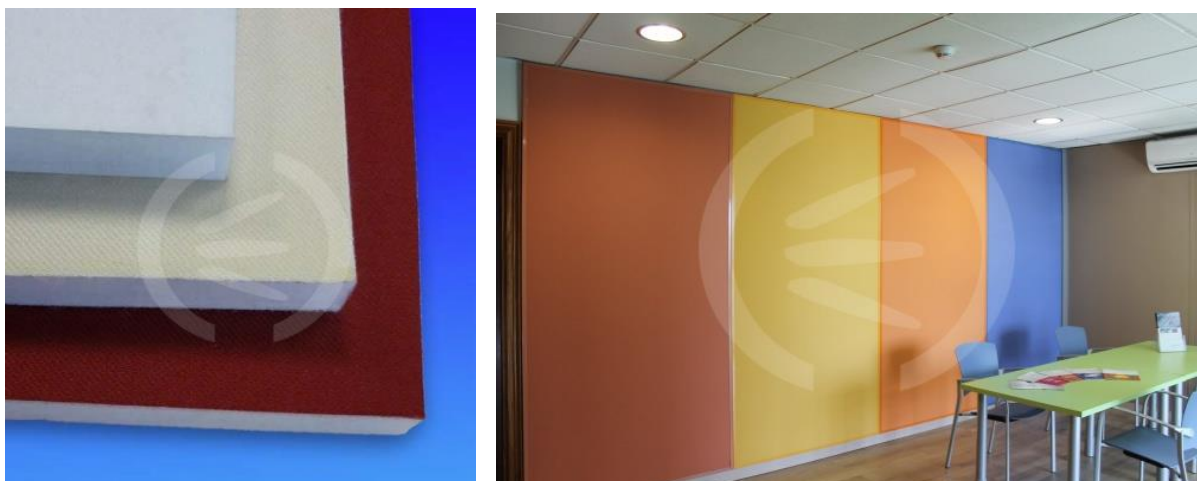


Figura 6.aaa. Panel flexible modelo Acustideco. Fuente: www.acusticaintegral.com

La empresa española **Metrasoni** dispone de varios absorbentes porosos flexibles, de célula abierta, revestidos con tejido, como el "Ipawall M" en espuma de poliuretano expandido de 15 mm de espesor, el "Metrafiber" en fibra de poliéster prensada y el "Ipacell" (liso o perforado).



Figura 6.bbb. Panel flexible modelos Ipawall M (izquierda), Metrafiber (centro) y Ipacell (derecha). Fuente: www.metrasoni.es

La marca valenciana **Vicarbe** tiene módulos cuadrados y rectangulares absorbentes elegantes, en la denominada serie "Layer", de piezas delgadas con bordes y esquinas redondeadas, compuestas por un núcleo de espuma tapizado, disponible en tres formatos.



Figura 6.ccc. Panel flexible modelo Layer. Fuente: www.vicarbe.es

La marca española **Morpa** ofrece los paneles "Morpason Venice" que son paneles acústicos digitalmente impresos sobre la superficie de un tejido poroso y un núcleo de fibra de poliéster altamente absorbente. El panel puede ser impreso con una imagen facilitada por el cliente o bien, elegida de nuestra librería de imágenes. También podría ser el logo de una empresa, sus productos o una fotografía propia. Las posibilidades son infinitas.



Figura 6.ddd. Panel flexible modelo Morpason Venice. Fuente: www.morpa.es

La multinacional **Basf** ofrece revestimiento mural absorbente blando en el modelo "Basotect", que tiene múltiples aplicaciones, además de absorbente acústico. Se presenta comercialmente en planchas lisas ignífugas, en distintos espesores y dimensiones, para ir pegado directamente con silicona. Es una espuma flexible de célula abierta de resina de melamina en color gris y blanco. En nuestro país, tiene numerosos distribuidores: Grupo Valero, Reticel Ibérica (bajo la gama llamada "Isol+").



Figura 6.eee. Panel flexible modelo Basotect. Fuente: www.basf.com

La empresa francesa **Texaa** tiene una solución de revestimiento mural flexible denominada "Vibrasto", que es su producto más comercializado por su gran absorción acústica y presentación estética. Está compuesto por una espuma elástica y maleable, protegida por malla textil transparente al sonido. Puede colocarse encolado (adaptándose a curvas y ángulos) o tensado, en paredes o techos, en 3 versiones en función del espesor, 12,22 Y 30 mm y 23 tonos de color.

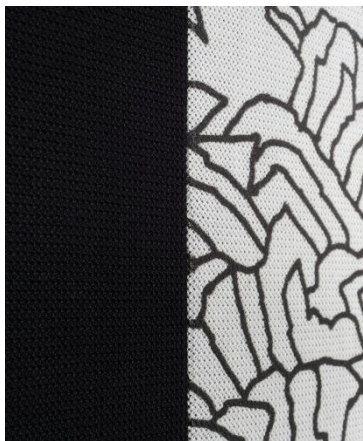


Figura 6.fff. Revestimiento mural modelo Vibrasto. Fuente: www.vicarbe.com

La empresa norteamericana **ATS Acoustics** dispone de paneles con dos tipos de revestimiento (tela o gamuza), dos espesores de placa, 3 tamaños e infinidad de colores y 3 modelos con motivos decorativos (ondas, círculos y cuadrados).



Figura 6.ggg. Paneles de revestimiento. Fuente: www.atsacoustics.com

Un recurso interesante son los cuadros decorativos transformados en absorbentes como los de la marca francesa **Deco.dal**, que son impresos en material poroso ignífugo (malla de trevira CS con guata de poliéster unidas por termo moldeo). Se puede elegir entre una variada colección de imágenes y fotografías de diferentes tamaños, dípticos, trípticos, enmarcados por estructura de aluminio macizo. Este mismo criterio lo aplican al diseño de plafones de techo registrable, en dimensiones 60x60 cm, que se instalan sobre perfiles tradicionales, con variedad de motivos personalizados.



Figura 6.hhh. Paneles impresos. Fuente: www.deco.dal.fr

Existen productos muy originales y elegantes tales como los de la firma sueca **Offecct**, que mayormente se dedica al diseño de mobiliario contemporáneo, en forma de vistosos paneles componibles modulares, dentro de la serie "Soundwave", para colocar en paramentos verticales, pegados directamente, de forma individual o formando composiciones de alto *valor* estético.



Figura 6.iii. Panel decorativo modelo Soundwave Geol. Fuente: www.offecct.se

La gama de texturas, relieves y colores es muy amplia, con 6 modelos diferentes. Los paneles (dimensiones de 60x60 cm y espesor medio de 8 cm) son de poliéster reciclado con superficie de acabado en lana.

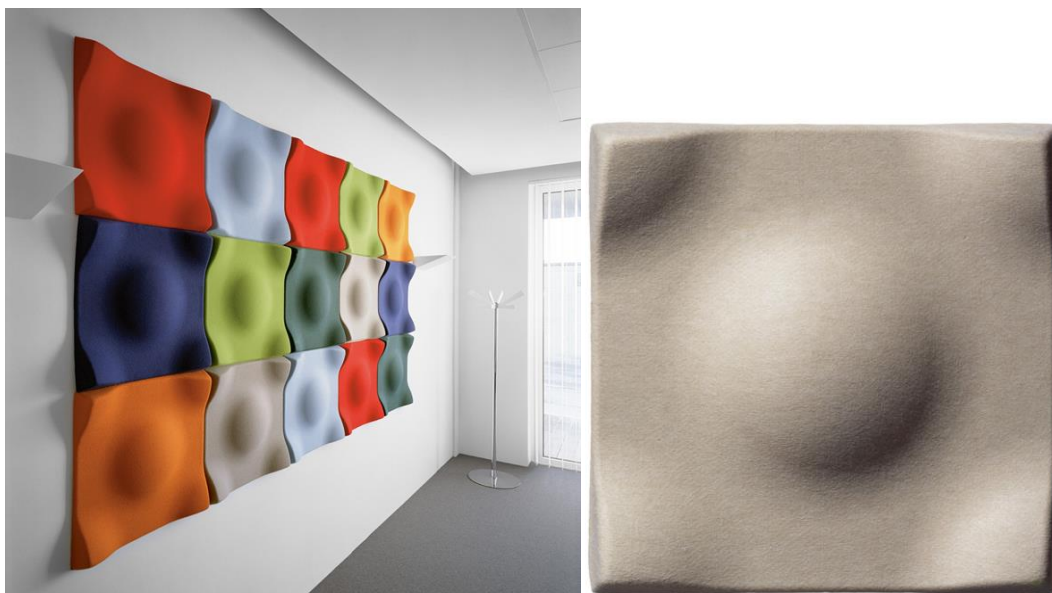


Figura 6.111. Panel decorativo modelo Soundwave Swell. Fuente: www.offecct.se

Otros productos son: la marca alemana **Acousticpearls** dispone de paneles absorbentes decorativos, para colocar de manera individual o agrupada, en formas rectangulares y cuadradas y distintos colores; otras empresas alemanas que comercializan este tipo de paneles absorbentes murales en variados colores son **Quattro-Schallabsorber** y **Schammstoffe Helgers**; la finlandesa **Woodnotes**, con amplia experiencia en la fabricación de mobiliario, alfombras y estores, dispone, también, de elementos cuadrados absorbentes en su serie "Whisper", para colocar individualmente o creando interesantes composiciones geométricas murales.

6.4.4 Textiles.

Dentro de estos materiales absorbentes a altas frecuencias tenemos las hojas finas porosas o **velos** fabricados con los más variados materiales: celulosa, tejidos, hilos metálicos, etc. El principio de funcionamiento es la disipación de la energía acústica en el velo como resultado de las pérdidas por fricción (resistividad al flujo) de la velocidad de las partículas de aire en los intersticios.

Están formados por la superposición de fibras, no necesariamente tejidas sino entrelazadas, debido a un proceso de prensado o a un pegado mediante resinas, de forma que presenten una resistencia al flujo homogénea a lo largo de la superficie del velo. Por su reducido espesor, no presenta capacidad de absorción acústica cuando se coloca en contacto con una pared rígida. Pero sí si se desplaza de la pared rígida, formando un espacio de aire, por ejemplo cuando van en **estores**. También pueden ir revistiendo a los absorbentes de esqueleto blando del apartado anterior.



Figura 6.kkk. Textiles. Fuente www.kvadrat.dk

Los **tejidos** tienen principalmente una función estética, pero debido a su densidad superficial y configuración, se convierten en buenos absorbentes a altas frecuencias. Dentro de ellos figuran las entelinas foamizadas, formadas por un tejido (de terciopelo, algodón, poliéster, acrílico, trevira CS) que lleva adherido un muletón trasero, similar a los utilizados en los tapizados de los sillones o sofás).



Figura 6.III. Material textil colocado a modo de absorbente en el techo. Fuente: www.texaa.com

Las **moquetas** gruesas naturales o de poliamida (que se pegan directamente al elemento soporte), también tienen buenas características absorbentes siempre que su densidad superficial sea superior a 400 g/m^2 , aunque tienen que ser ignífugas, al menos, para los locales públicos. Las **alfombras** pertenecerían también a este grupo.



Figura 6.mmm. Moqueta. Fuente www.kvadrat.dk

Existen también los tejidos de última generación denominados de **microfibra**, que con menor densidad superficial, aportan la misma absorción que los que tienen una masa 3 o 4 veces mayor. Mediante chorros de agua a gran presión, los filamentos se dividen en microfilamentos. Con una densidad superficial de sólo 100 gr/m^2 y un grosor de aproximadamente de 0,5 mm. La absorción acústica es óptima a las frecuencias de 2.000 Hz y superiores.

Dentro de ellos, es interesante la tecnología de microfilamentos que, bajo el nombre de "Evolon" de la marca alemana **Freudenberg**, fabrica elementos textiles como velas, toldos, cortinas y estores. Son fibras de poliéster y poliamida cohesionadas como filamentos continuos segmentados.

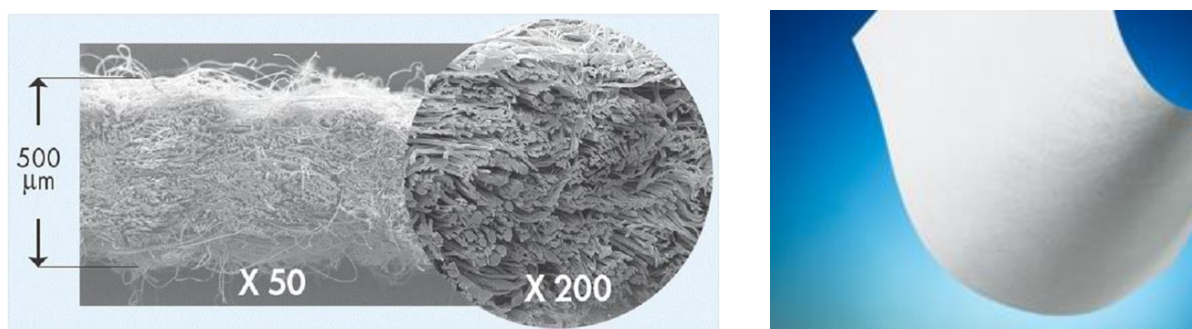


Figura 6.nnn. Microfibra. Fuente: www.freudenberg-nw.com

La firma española **Comersan** dispone de material textil para revestimiento, transpirable e ignífugo denominado "Wallsan", que posee además absorción acústica, resistencia térmica, y acepta distintos acabados, además de ser antimanchas, antiolor, antimoho, antibacteriano. Otro tejido ignífugo interesante de la marca es el llamado "Foscusan Alfa", de polyester.



Figura 6.000. Textil modelo Wallsan. Fuente: www.comersan.com

La marca inglesa **Mermet** tiene dentro de su gama "Modulight" (tejidos inteligentes) un producto denominado "Acoustis 50", que se compone de fibra de vidrio revestida de gran resistencia mecánica, en 12 colores, apta para exteriores e interiores. Su aplicación es en forma de estor, toldo o tejido sobre estructura portante (tensado o enmarcado), con altos coeficientes de absorción a partir de 1.000 Hz. Se presenta en rollos de 250 cm. de ancho por hasta 27 metros de largo.



Figura 6.ppp. Textil modelo Acoustic 50. Fuente: www.mermet.com.au

La empresa mallorquina **Factory of Silence** distribuye la marca comercial "Kuality Sound", que basándose en el concepto "Photocustic" tiene productos con interesante absorción acústica bajo criterios decorativos, en forma de paneles absorbentes decorados mediante técnicas de impresión

digital (dibujos, fotos personalizadas), que pueden ir colgados en paredes o suspendidos de techos, con amplia gama de formatos, diseños y texturas.

Una de las empresas textiles líderes en Europa, el grupo empresarial alemán **Schmitz- Werke** posee la marca comercial **Drapilux**, dentro de lo que llaman "tejidos inteligentes", dispone de un producto llamado "Akustik", que proporciona importantes unidades de absorción por superficie, testado en ensayos de laboratorio, además de proporcionar multitud de propiedades decorativas.



Figura 6.qqq. Textil modelo Akustik. Fuente: www.drapilux.com

Existen otras empresas como el estudio inglés de **Anne Kyrró Quinn**, que ofrece tejidos naturales en relieve de corte, cosido y acabado a mano; la sueca **Lomakka** realiza productos parecidos a los anteriores para esteras de suelo y revestimiento acústico de paredes y techos; la francesa **Texdecor** dispone de una serie, denominada "Vinacoustic", formada por vinilo microperforado y poliéster trasero; la marca danesa **Gabriel**, ofrece "Silent Solution", que son soluciones tipo sándwich en 3 y 5 cm, con buena absorción a partir de la frecuencia de 1.000 Hz, para revestir paramentos o aplicar a mobiliario y puertas; la alemana **Planex** dispone de un amplio surtido de piezas en espuma absorbente revestida, para paredes y falsos techos, textiles tensionados y tejidos para fachadas. Destaca su producto llamado "MA 680" de la gama "Silent Protect", de 700 gr/m² de densidad superficial y alta absorción sonora, con ensayos de su eficacia.

6.4.4.1 Cortinas.

La función de absorción acústica de las **cortinas** disminuye mucho cuando están recogidas. Pero cuando están extendidas pueden representar una superficie importante del paramento que limita un local y, como además normalmente estas van en las ventanas, ocultan la superficie altamente reflectante del vidrio, por lo que su eficacia es mayor. Además de todo esto, a no ser que vaya en tiras, su posición normal es con cierto fruncido, lo que aumenta su superficie de absorción. Esta absorción también depende de la distancia al paramento más cercano. En cuanto a sus características físicas, la densidad superficial influye en sus coeficientes de absorción, como en las moquetas, sus propiedades absorbentes empiezan a notarse a partir de los 400 g/m².



Figura 6.rrr. Cortina en tiras. Fuente: www.texaa.com

La marca española **Morpa**, además de los paneles con tejido impreso, tiene cortinas acústicas en las series denominadas "Ecosin", "Biosilence", "Sinoise" y "Divisoria". Estas dos últimas se componen de tejidos pesados, indicados para minimizar la transmisión de ruido entre locales colindantes o para espacios compartimentados. La serie Ecosin se coloca para aportar unidades de absorción a altas frecuencias, mediante sus modelos "Racso lux", "Vento mar" y "Vanzo Matin". La "Biosilence", aparte de sus características acústicas, tiene propiedades antibacterianas, fungicidas y anti ácaros, diseñada para centros sanitarios.



Figura 6.sss. Cortinas serie Ecosin. Fuente: www.morpa.es

En España hay otras empresas como **Alonso Mercader** o **Madisson Telones**, que tiene todo tipo de equipamiento escénico (telones motorizados, tejidos escénicos, butacas) y **Teatreya**, en cuyo catalogo extenso figuran cicloramas, pantallas de protección, tapices, cortinas, terciopelos y unas originales estructuras tensadas que pueden retroiluminarse. Son los distribuidores de la importante marca austriaca Tuchler.



Figura 6.ttt. Cortinas. Fuente: www.telonesmadisson.com

La francesa **Texaa**, a través de la gama "Vibrasto" de la que ya hemos hablado, tiene cortinas de elementos de 5 mm de espesor, distintos anchos y colores.

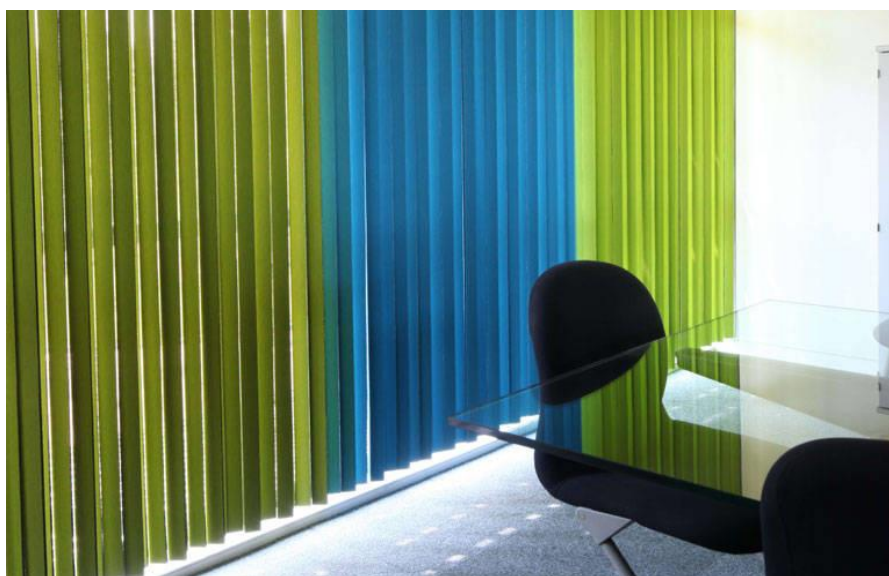


Figura 6.uuu. Cortina modelo Vibrasto Acustic Blind. Fuente: www.texaa.com

Nombraremos otras marcas: como **Crocfeu** que dispone de tejidos de protección solar, como los "Venil" en tejido chenilla y aspecto aterciopelado, y los "Opale", con soporte poliéster en inducción acrílica con reverso flocado; la alemana **Gerriets** dispone de gran experiencia (fundada hace más de 60 años) en fabricación de tejidos pesados en Trevira CS, algodón y lino. Destaca su tejido acústico llamado "Absorber CS"; la suiza **Baumann** (modelo "Arezzo 111", "Assago 111", "Tony", "Velos" y "Avanti un"), las francesas **Ami Lenglar y Dickson** (modelo "Santorin"), la firma sueca **Svensson Marksspelle** (modelo "Twice" e "Inbetween" de la colección "Mute:on", que disponen de ensayos de laboratorio) y la inglesa **Silent Gliss**.

6.4.5 Objetos y biombos absorbentes.

Los **plafones u objetos decorativos absorbentes** colocados de manera individual o agrupada son una opción que es muy recurrente porque es una manera de aumentar la absorción sin tener que

modificar ningún elemento. Su funcionamiento es a modo de baffles independientes, consiguiendo una gran superficie de absorción al estar generalmente aislados. Aunque su coste puede resultar elevado, pues su uso no está normalizado, sus propiedades estéticas los integran en cualquier ambiente.

Para que nos hagamos una idea, por ejemplo la española **EZ Acoustics** tiene cubos absorbentes con buenas características acústicas y resistentes al fuego.



Figura 6.vvv. Cubo acústico modelo EZ Foam Cube. Fuente: www.ezacoustics.com

Las **mamparas o pantallas** absorbentes, muy recurridas para separar los puestos de trabajo, pueden ser también una buena opción por su evolución estética. Se componen de una pieza o varios elementos que pueden ser intercambiables. Pueden presentarse de muy diversas formas, por ejemplo como biombos (en un paño o varios articulados) que apoyan en suelo o como módulos adaptados al propio mobiliario.

La firma alemana **Recytex** crea biombos a base de piezas absorbentes lisas estampadas y acolchadas (en los que cada módulo está formado por 2 o 3 piezas intercambiables), en distintos colores. Estas también valdrían para ir colgadas.



Figura 6.www. Pantalla absorbente. Fuede: www.recytex.de

Texaa es pionera en diseño de objetos prismáticos absorbentes a través de su serie ya nombrada "Abso", de cajas, cubos, tótems, conos, cuyo absorbente acústico es una espuma alveolar

envuelta por textil transparente al aire, desmontable y lavable, con tratamiento antimanchas y antipolvo, ofreciendo una fuerte resistencia a los roces y desgarrres.



Figura 6.xxx. Totems absorbentes de la serie Abso. Fuente: www.texaa.com

Y también en la serie “Stereo” ofrece mamparas y formas geométricas para suspender (tanto vertical como horizontalmente en techos).



Figura 6.yyy. Elementos de la serie Stereo. Fuente: www.texaa.com

La marca norteamericana **Auralex**, a través de sus modelos "CornerFills" o "Sunburst", tiene también elementos en forma de prismas de espuma porosa, a veces, montados sobre un soporte para ofrecer adaptabilidad y portabilidad, con aplicación usual en estudios de grabación.

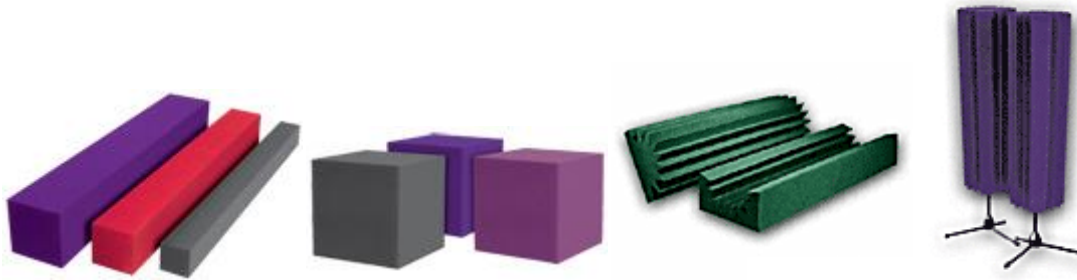


Figura 6.zzz. Modelos de izquierda a derecha: ConerFills, ConerFills Cubes, Sunbursts Broadband Absorbers y Sunburst- 360. Fuente: www.auralex.com



Figura 6.aaaa. Modelo Sunburst- 360. Fuente: www.auralex.com

La danesa **Kvadrat**, especializada en textiles, tapicería y cortinas para el hogar, dispone, también, de las series "North Tiles" y "Clouds", formadas por elementos pequeños textiles que, agrupados, forman revestimientos tipo escamas de pez o "nubes", a modo de objetos absorbentes en 3 dimensiones de alto valor decorativo, resultado de la repetición de un patrón modular.



Figura 6.bbbb. Series: North Tiles y Clouds. Fuente: www.kvadrat.dk

La firma sueca **Glimakra** dedicada a la creación y venta de biombos con diseños originales, poco tradicionales como el modelo "Wannabetree" con forma de árbol plano, en diferentes colores y tamaños, para colocar solos o agrupados, con coeficientes de absorción sonora ensayados. Esta marca, también, dispone de otros modelos de mamparas absorbentes con dibujos geométricos (series "Webb", "Privacy" y "Like Pod") y revestimientos murales.



Figura 6.cccc. Modelo Wannabetree. Fuente: www.glimakra.com

La italiana **Clipper System** dispone de mamparas de aspecto vanguardista y elegante en la serie llamada "Phonotex", con posibilidad de crear distintas composiciones articuladas.



Figura 6.dddd. Mampara serie Phonotex. Fuente: www.clippersystem.it

La marca alemana **Sedus Stoll**, experta en mobiliario de oficina, ofrece productos absorbentes parecidos, para colocar como cuadros murales, techos o biombos. El modelo “Viswall” es un elemento de apantallado de dos hojas, con láminas giratorias ancladas sobre una plataforma estable a modo de pie. Gracias a la posibilidad de girar las láminas permiten elegir entre transparencia, visión completa o apantallado total de la zona. Gracias a los extremos en punta de las plataformas inferiores, los módulos se pueden colocar alineados, en direcciones distintas o escalonados.



Figura 6.eeee. Modelo Viswall. Fuente: www.sedus.es

6.4.6 Absorbentes proyectados.

Estos son soluciones continuas de proyección en capas delgadas que proporcionan cierta absorción, sobre todo, a altas frecuencias para tratar espacios que requieran acondicionamiento acústico y que no admitan soluciones tradicionales basadas en falsos techos o trasdosados. También para tratar

superficies de difícil ejecución. También se les suelen llamar morteros acústicos. Se aplican de manera mecánica por proyección (a chorro o pistola), y constan, normalmente, de un ligante (por ejemplo, yeso) y un absorbente ligero (perlita, vermiculita). Tras el secado, el mortero queda ligero y perfectamente adherido al soporte.



Figura 6.fff. Mortero acústico en edificio singular. Fuente: www.notson-acustica.com

La textura es uniforme y rugosa. Algunos de estos materiales también son ignífugos por lo que se dan para protección contra el fuego de elementos constructivos.

El funcionamiento radica en la porosidad que adquieren estos morteros entre las partículas de estas soluciones proyectadas. Sus coeficientes de absorción dependen del espesor aunque suelen ser muy bajos, del orden de 0,2-0,3 hasta la frecuencia de 500 Hz, aumentando a partir de ahí, presentando los valores más altos para frecuencias a partir de los 2.000 Hz, con coeficientes alrededor de 0,7. Por eso se recurre a ellos en caso de no poder aplicar otra solución mejor.

Algunos morteros denominados acústicos son tan solo para la corrección acústica, lo que prevé que su coeficiente de absorción va a ser muy bajo. Tal es el caso de "Vermacustic", del Grupo PV (www.perlitayvermiculita.com). Este es un producto ligero, seco y sin amianto, de color blanco grisáceo, de alta densidad y máxima absorción a partir de la frecuencia de 2.000 Hz. Aunque esta absorción tan solo la ofrecen en la ficha técnica como un dato orientativo.

Muchos fabricantes de lana de roca y vidrio disponen de borras para proyectar, como el "Banroc Termo" de Isover, "Isoflam" de Eurisol y el "Rockprime" de Rockwool.

La marca Notson comercializa el producto "Sediphone", incombustible, compuesto por una base de yeso (sin amianto ni fibras minerales) para aplicar sobre casi cualquier superficie en espesor de 20 a 25 mm. Es más absorbente a altas frecuencias.

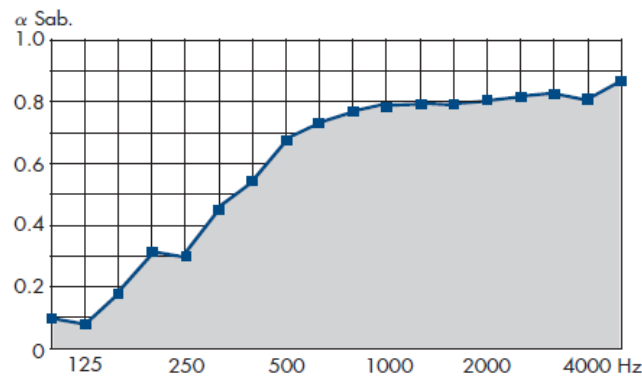


Gráfico 6.j. Coeficiente de absorción de Sediphone. Fuente: www.notson-acustica.com

Existen más productos como el de la marca Dalfloc con el llamado "Dalfoc", la marca Prolijo con "Soundless", la marca, Aeeuratek que comercializa "Sana Spray", la inglesa Cafeo con "Soundcote"

6.5 Sistemas perforados y enlistonados. Soluciones comerciales.

Los materiales más empleados para la realización de estos sistemas son escayola, yeso laminado, madera, paneles metálicos, de PVC, y en menor medida materiales cerámicos y de hormigón. Está claro que no solo deben de cumplir su función acústica, sino que también deben tener una buena presentación estética, sobre todo en el caso que nos ocupa de bares y restaurantes, por haber una exigencia alta en la decoración.

6.5.1 Escayola perforada.

La escayola se utiliza desde hace mucho tiempo en falsos techos. Estos son registrables formados por piezas prefabricadas rígidas, moduladas y aligeradas. Tienen una variada gama de acabados. Generalmente se componen de una mezcla de escayola (sulfato cálcico deshidratado) aligerada con perlita y fibra de vidrio de refuerzo. La aplicación de la pintura es con rodillo, con cuidado de no obturar los agujeros. Pueden presentarse nervadas, en relieve, semiperforadas y perforadas, siendo las de mejor absorción acústica. Normalmente, llevan integrado el material absorbente poroso delgado en su trasdós. La máxima absorción la tienen en la gama de frecuencias entre 250 y 500 Hz (coeficientes de hasta 0,7). Existen variantes semiperforadas (los taladros no atraviesan totalmente la placa), pero tan solo tienen valor estético, pues ya no son absorbentes.

Las piezas aligeradas de escayola, denominadas caladas, en las que existe gran proporción de hueco libre, van acompañadas en el plenum del falso techo por algún tipo de material poroso, por lo que el comportamiento acústico será el propio de este material absorbente (máxima absorción a altas frecuencias).



Figura 6.gggg. Falso techo de placas caladas. Fuente: www.elalteron.com

Este es un producto higrométrico, resistente al fuego, de fácil mantenimiento, y que se puede pintar, con lo que es muy utilizado en cualquier tipo de obra.

El Alterón, empresa con alta experiencia en este campo por llevar muchos años en el mercado, dispone de la gama "Focnoplak", con piezas de dimensiones 60x60 y 30x120 cm para techos registrable de perfilera vista, de borde recto o escalonado. Las placas pueden tener perforaciones circulares, tales son los modelos de la serie "Keops", elípticas, como los de la serie "Space", y de grandes dimensiones como los modelos de placas caladas que se llaman "Venus", "Crou" y "Crou2".

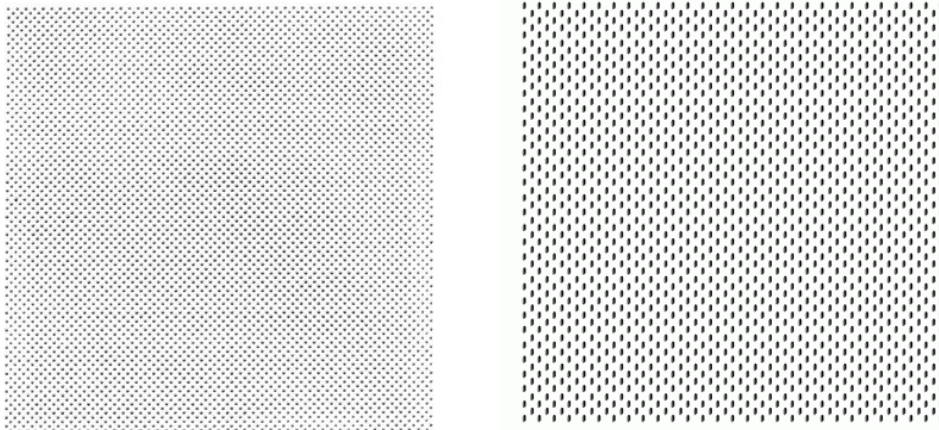


Figura 6.hhhh. Modelos: Keops Acustica (izquierda) y Space (derecha). Fuente: www.elalteron.com

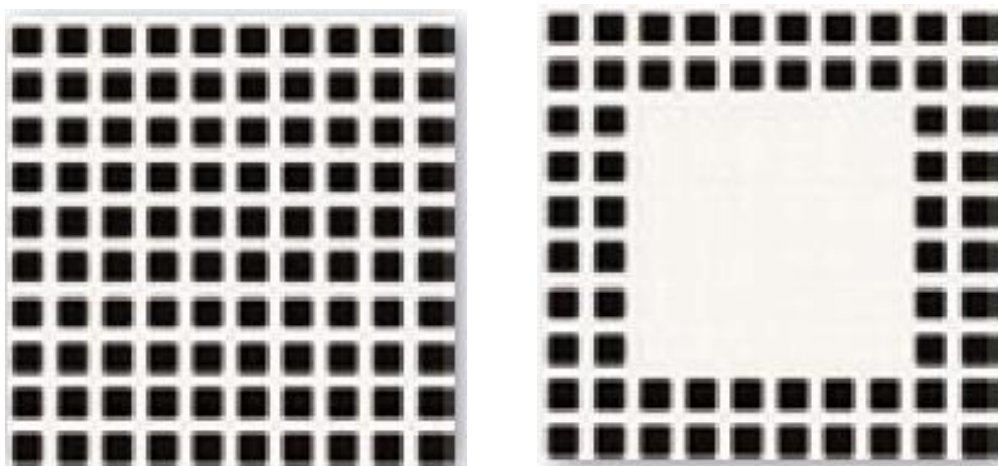


Figura 6.iii. Modelos: Crou (izquierda) y Crou 2 (derecha). Fuente: www.elalteron.com

Yesyforma ofrece una amplia gama de placas para falso techo aligerado de escayola, disponiendo de modelos perforados: "Lisboa" y "Perforada", ranurados: "Nápoles" y calados: "París" y "Roma", en piezas de dimensiones 60x60 cm.

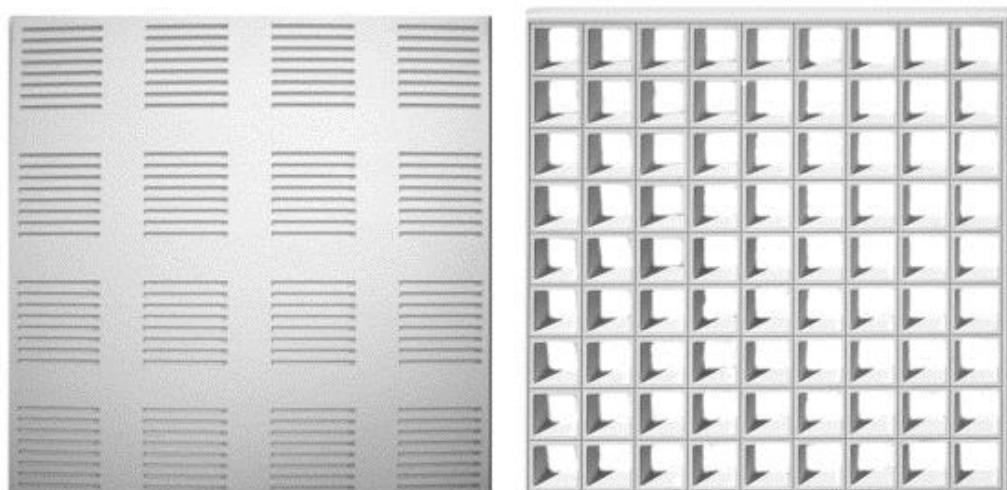


Figura 6.jjjj. Modelos: Nápoles Acustica (izquierda) y Paris (derecha). Fuente: www.yesyforma.es

Placo, de Saint Gobain dispone de dos series para techos registrables en escayola, dentro de la gama "Decogips", denominadas "Silencio" (6 acabados de placa semiperforada) y "Espacio" (con un modelo totalmente perforado denominado "Open").

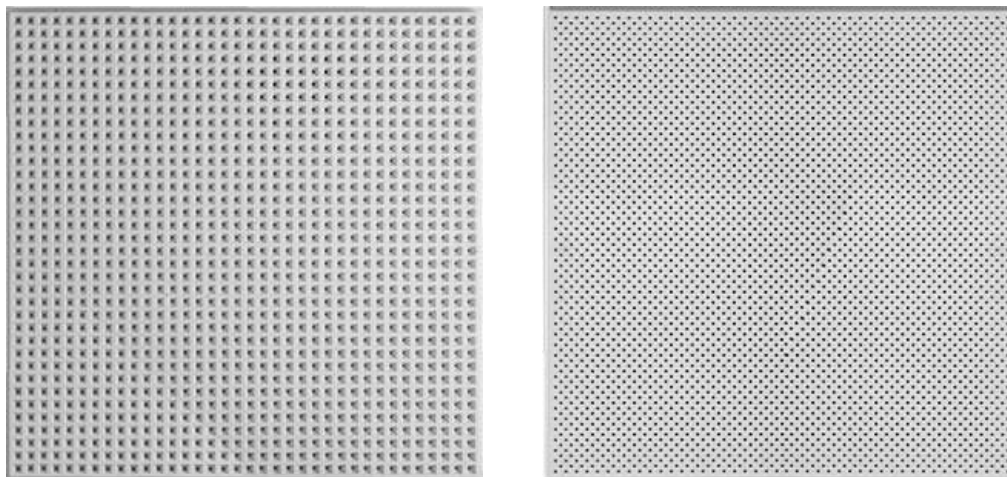


Figura 6.kkkk. Modelos: *Silencio Cairo* (izquierda) y *Silencio Coral* (derecha). Fuente: www.yesyforma.es

6.5.2 Placa de yeso laminado perforada.

Son las que se utilizan en falso techo, pero con perforaciones que ocupan toda la superficie del tablero y que puede tener distintos formatos. Se utilizan también en trasdosados aunque son más usuales en falsos techos registrables y continuos (perfilería oculta), pues no es recomendable que queden accesibles a roces y choques al no ser muy resistentes. El peso de estas placas es menor al de las lisas por los agujeros, en torno a los 9 kg/m^2 .

Los falsos techos tradicionales de escayola han sido sustituidos por falsos techos ligeros como los de yeso laminado, y estos tienen absorción a bajas frecuencias pues funcionan como resonadores de membrana. Al ir perforado se le acopla un absorbente en el plenum lo que aumenta su eficacia a frecuencias altas (lana de vidrio, lana de roca o espuma de poliéster, que pueden ir protegidos por velo mineral si la propia placa no lo lleva adherido en su trasdós de fábrica).

El tratamiento de juntas en los continuos es similar al de las placas lisas, aunque existen modelos que no llevan el borde rebajado (son de borde cuadrado) y debe darse una pasta especial mediante pistola (sin cinta), por lo que se coloca con una pequeña rendija entre placas consecutivas para posteriormente rellenar.



Figura 6.III. Faso techo continuo con perfilería oculta. Fuente: www.pladur.com

El acabado final se realiza mediante aplicación de pintura de igual manera que en las placas lisas, directamente con rodillo seco o previa imprimación selladora. Se aconseja que las luminarias y rejillas de instalaciones vayan en las zonas ciegas de las placas, sin romper la perfilería oculta.

Los principales fabricantes de placas de yeso laminado; **Knauf, Pladur y Placo**, disponen de gran variedad de modelos perforados y ranurados. Santiago Valero Granados [10] “Acústica aplicada al interiorismo” determina las siguientes características importantes a tener en cuenta:

- a) Porcentaje de perforación, que para los de aplicación acústica debe ser superior al 10%.
- b) Formas de los taladros (perforación circular o cuadrada, o ranuras longitudinales). Los modelos ranurados presentan mayores coeficientes de absorción.
- c) Tamaño de los agujeros. En perforaciones circulares se presentan diámetros de 6, 8, 10, 12 y 15 mm. Las perforaciones cuadradas suelen tener dimensiones de 8x8, 10x10 y 12x12 mm. En las ranuras, el ancho suele ser de 5 mm. y el largo de 80 mm.
- d) Reparto de perforaciones en la superficie de la placa: agrupadas (en bloque) o uniformemente repartidas. Dentro de cada tipo, existen diferentes distancias entre perforaciones.
- e) Ocupación total de perforaciones en placa (hasta bordes) o dejando un perímetro liso de transición.

Las perforaciones pueden ser aleatorias, sin orden, e incluso combinar en una misma placa perforaciones de distinto diámetro (que van desde los 8 a los 35 mm.), repartidas homogéneamente por toda la superficie de la placa. También hay trampillas de registro, cuadradas y rectangulares, del mismo tipo de placa perforada, que se integran perfectamente en este tipo de techos, para acceder al plenum superior.



Figura 6.mmmm. Falso techo perforado. Fuente: www.pladur.com

Pladur tiene la marca "Pladur Fon" que son placas perforadas, disponibles en numerosos diseños distintos, haciendo distinción entre las que tienen borde afinado (BA) o borde cuadrados (BC). Dentro de cada una de estas opciones, hay modelos con perforaciones circulares, cuadradas o ranuradas.

• **PLADUR FON⁺** **BA** BORDO AFINADO



• **PLADUR FON⁺** **BC** BORDO CUADRADO



PLADUR FON⁺

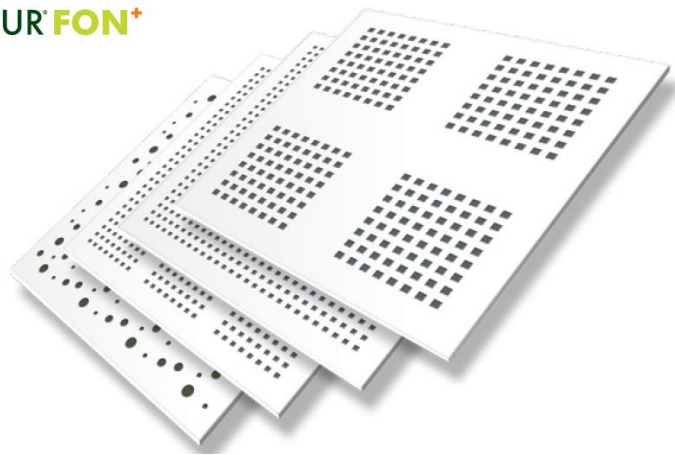


Figura 6.nnnn. Placas modelo Pladur Fon. Fuente: www.pladur.com

Las placas de la marca "Pladur Fon Decor" poseen un acabado altamente decorativo para la realización de techos registrables.

PLADUR[®] FON⁺ Decor

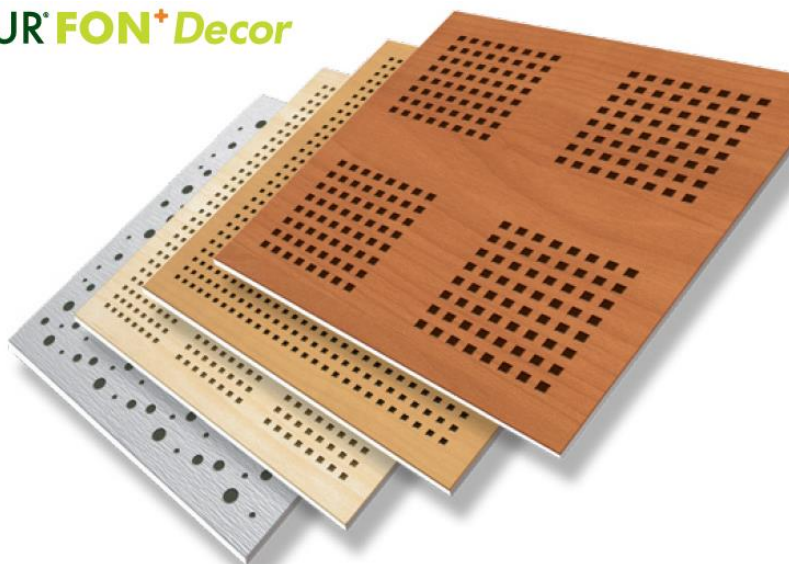


Figura 6.0000. Placas modelo Pladur Fon Decor. Fuente: www.pladur.com

El falso techo puede ser continuo (con perfilaría oculta y sin que se advierten la juntas) o registrables (se ve la perfilaría). A su vez pueden verse las perforaciones con un reparto homogéneo por toda la superficie, para los que las perforaciones llegan al borde de las placas, o con estas en bloque tal como se ve en la figura.

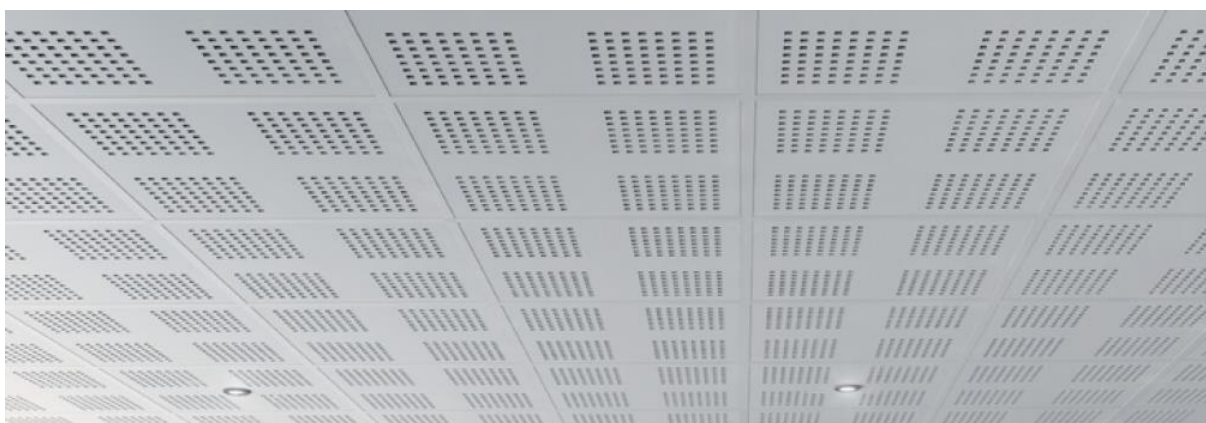


Figura 6.pppp. Falso techo registrable con perforaciones en bloque. Fuente: www.pladur.com

La marca **Placo** de la multinacional Saint Gobain dispone de modelos similares a los anteriores para techos continuos, serie "Rigiton" (en 13 diseños), de borde cuadrado y "Gyptone Continuo", de borde afinado, y velo mineral incorporado, con distintos modelos bajo el nombre de "Line" y "Quattro", entre los que destaca la "Line Tipo 7 Bend", que es una placa perforada curvable, con perforaciones ranuradas y cuatro bordes afinados, de gran posibilidad plástica.

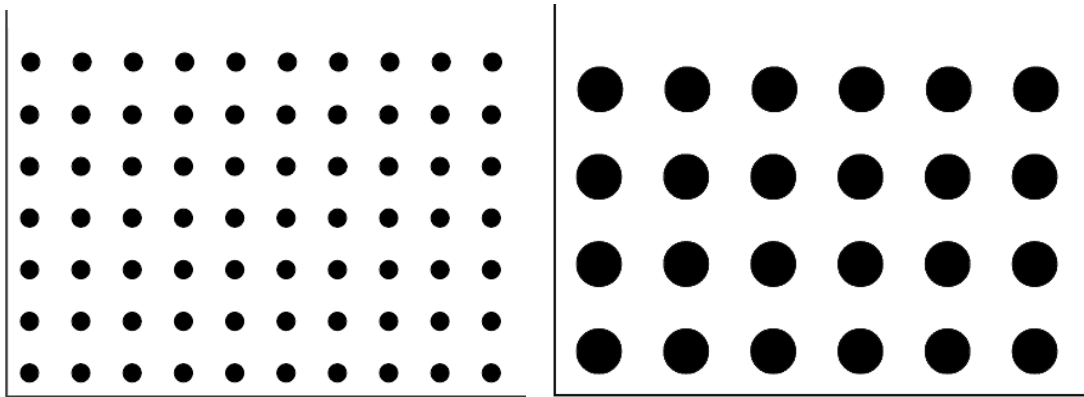


Figura 6.qqqq.Placas para falso techo continuo modelos: Rigiton 6/18 Velo blanco (izquierda), Rigiton 15/30 (derecha). Fuente: www.placo.es

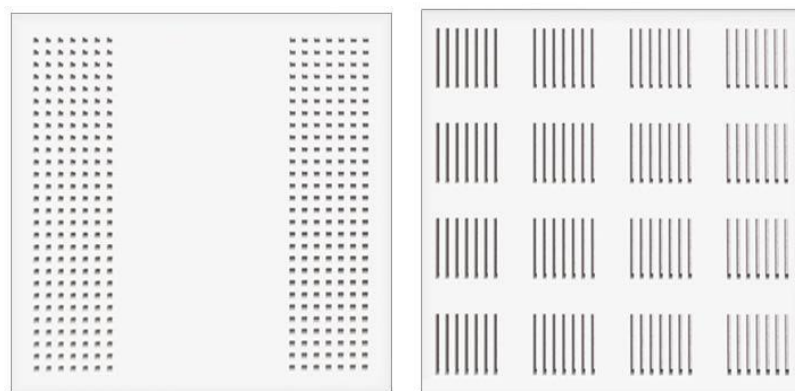


Figura 6.rrrr.Placas para falso techo registrable modelos: Quattro 22 (izquierda), Line 4 (derecha). Fuente: www.placo.es

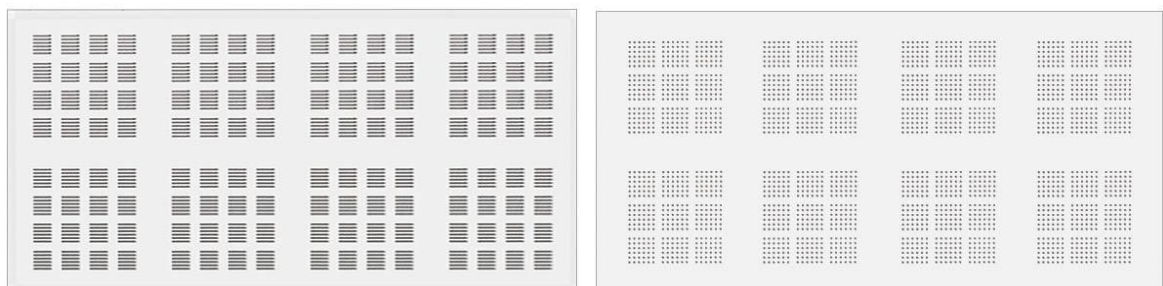


Figura 6.ssss.Placas para falso techo continuo modelos: Line tipo 6 (izquierda), Quattro 47 (derecha). Fuente: www.placo.es

La empresa alemana Knauf dispone también de gran variedad de placas, por ejemplo la gama "Danoline", de placas perforadas en 60x60 y 60x120 cm, para techos registrables (perfilería vista u oculta).

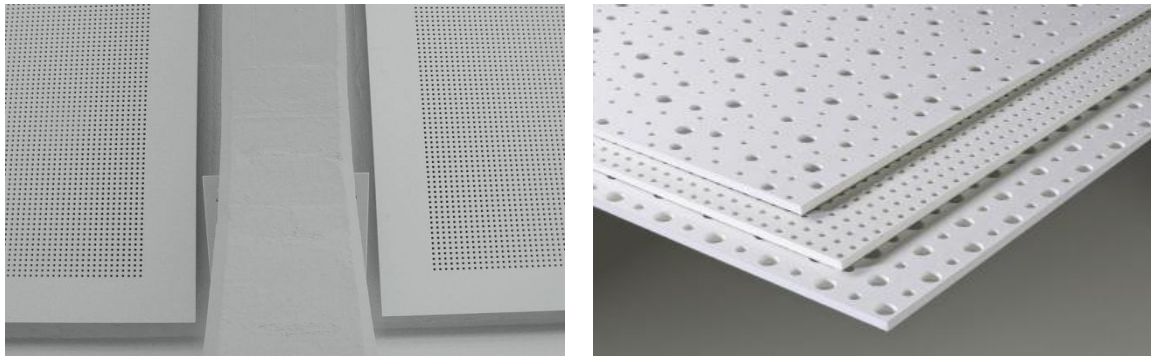


Figura 6.tttt. Placa modelo Knauf Danoline (izquierda) y Knauf Cleaneo (derecha). Fuente: www.knauf.es

Aunque quisiéramos destacar la placa “Knauf Cleaneo” porque es una placa de yeso laminado perforada, tratada adicionalmente con zeolita, que le aporta la propiedad de absorber los malos olores del ambiente. Además de ofrecer una buena absorción acústica y un elegante diseño, por lo que es indicada para bares y restaurantes.



Figura 6.uuuu. Falso techo continuo con placas Knauf Cleaneo. Fuente: www.knauf.es

6.5.3 Tableros perforados, enlistonados y celosías de madera.

Los **tableros de madera perforados** son un producto con un núcleo de madera (MDF, DM o aglomerado), con acabado de rechapado de madera natural o melamina en su cara vista o incluso en las dos. Los espesores son desde los 10 mm hasta los 25 mm, y algunos fabricantes ofrecen modelos curvados. Pueden colocarse como trasdosado (sujetos a rastreles o carriles ocultos, con o sin entrecalle) o como falsos techos, en disposición continua, con perfilera oculta, o en disposición modular, con perfilera vista. Esta puede ir con acabado lacado o con un adhesivo o funda acoplable, imitando el mismo tono de la madera.

Para su colocación es necesario controlar las condiciones de humedad y temperatura del local.

Sus coeficientes de absorción suelen ser buenos en casi todas las frecuencias, aunque mejores en las medias.

Santiago Valero [3] realiza una primera clasificación en dos grandes grupos:

- a) Los de **superficie vista lisa**, en variantes de perforación circular, cuadrada y ranurada, con variedad en la disposición de estas y en los tamaños.



Figura 6.vvvv. Falso techo de madera perforado. Fuente: www.amfceilings.co.uk

- b) Los de cara vista mecanizada, denominados **acanalados o ranurados** por llevar ranuras longitudinales, que dan una imagen más continua, como si no hubiera juntas, porque éstas corresponden exactamente al mismo ancho de las ranuras. Las perforaciones circulares se forman a modo de nido de abeja, en cara oculta posterior del tablero. El montaje se realiza continuo al estar machihembrados los cantos longitudinales, normalmente, por sistema de clipado. Existen distintos tamaños de panel aunque suelen responder a dimensiones de 120 o 240 cm de longitud x 30 cm de ancho.

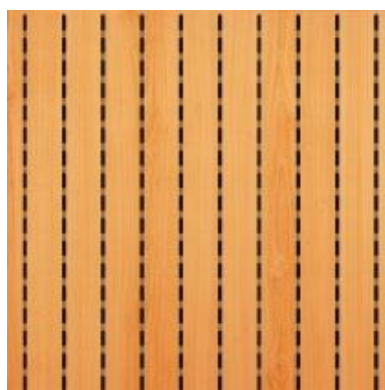


Figura 6.www. Falso techo de madera acanalado. Fuente: www.taor.es

Es muy importante en ambos tipos la inclusión de un material absorbente poroso en la cámara o plenum (como ocurría con los de escayola o yeso laminado). Este absorbente tiene que ir protegido con un velo (que se sitúa entre el panel y el absorbente), pudiendo ir adherido al absorbente o al propio panel.

Los acabados son de lo más diverso, desde melamina, en diversos colores, hasta el acabado natural de la chapa de madera que lo reviste: wengué, arce, haya, cerezo, roble, peral, etc. Existen modelos ignífugos ideales para ambientes exigentes como los bares y restaurantes.

El mecanizado del canto es variado: tegular (sistema de montaje en el que la perfilería queda vista pero en una entrecalle formada por los paneles), machihembrado, biselado, etc. Es recomendable que las piezas tengan un índice de perforación mayor al 6%.

Podemos englobar en este apartado también los **enlistonados longitudinales y piezas en rejilla de madera maciza**, realizados normalmente con carácter decorativo. Se componen de listones de madera repetidos, colocados paralelamente y unidos normalmente por cilindros también de madera maciza. Su funcionamiento podría ser el de los resonadores de Helmholtz (máxima absorción a medias frecuencias) si se diseñan con la adecuada separación entre piezas y se le coloca material absorbente poroso trasero. Si el espacio entre los listones es excesivo su comportamiento se aproxima más al propio de las características del absorbente poroso (altas frecuencias).

También podrían actuar como difusores en el caso de ocupar el espacio entre listones con un material rígido.

Las **celosías o rejillas** son como enlistonados en las dos direcciones. En cuanto a su funcionamiento es igual que los enlistonados, si la parte hueca supone más de un 70% de la superficie total se comportan según el absorbente poroso o fibroso que las acompañan, es decir, un sistema con eficacia a altas frecuencias. Cuanto menos porcentaje tengan más se aproximarán al comportamiento del un resonador de cavidad.



Figura 6.xxxx. Falso techo de rejilla (izquierda) y enlistonado (derecha) de madera. Fuente: www.hunterdouglascontract.com

La española **TAOR**, tiene la marca "Ideatec", con tableros perforados y ranurados, en 4 opciones (microperforada, taladrada, ranurada y de cuadros) en su modelo "Ideacustic" y con multitud de acabados de maderas naturales o de colores, con distinto mecanizado de cantos. Las dimensiones de piezas para falsos techos son de 60x60 y 60x120 cm. El tablero de núcleo de las piezas puede ser contrachapado, MOF, fenólico o de alta densidad.

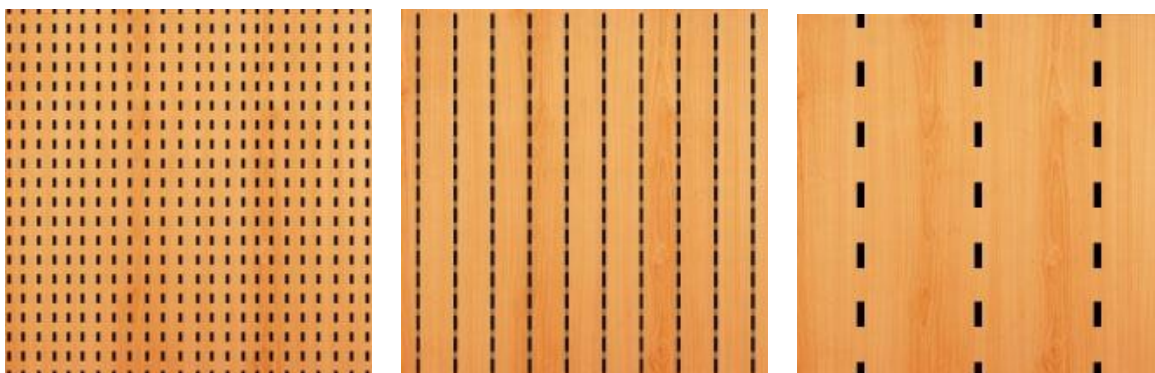


Figura 6.yyyy. Modelos de izquierda a derecha: Ideacustic 8, 16 y 32. Fuente: www.taor.es

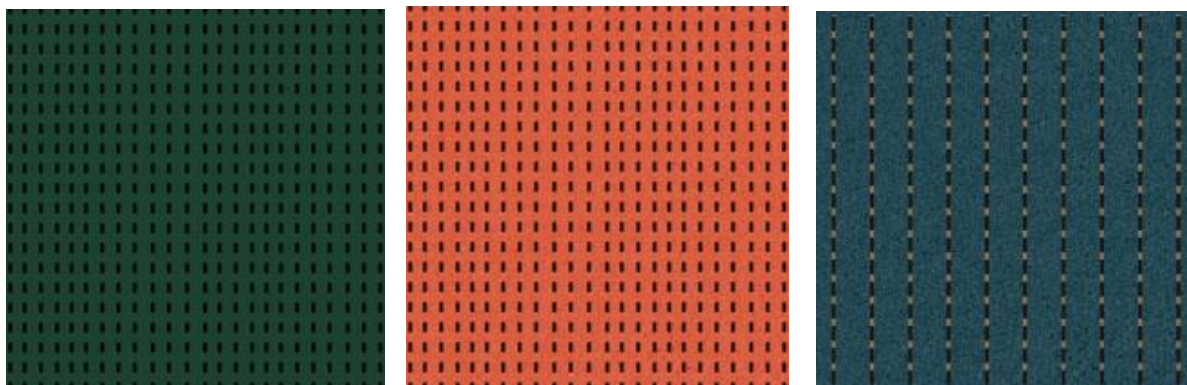


Figura 6.zzzz. Modelos de izquierda a derecha: Ideacoustic Color DM crudo, naranja y azul. Fuente: www.taor.es

Dispone también para los revestimientos murales de un mecanismo desmontable clipado oculto que permite crear, de manera fácil, grandes paños de forma continua. Piezas especiales como las placas para ventilación y altavoces, que disponen de ranuras colocadas radialmente. También el modelo "Ideapyl", que es una combinación de panel de yeso laminado con melanina de alta calidad, consiguiendo gran resistencia al fuego.



Figura 6.aaaaa. Sistema de clisado y vista del modelo Ideapyl. Fuente: www.taor.es

También dispone de la marca "Ideatec" entre su gran variedad de productos, con el modelo "Panel Rejilla", que como su nombre indica es una rejilla en madera maciza, y el modelo "Idealux", que es un enlistonado también en madera maciza, ambos en dimensiones 60x60 cm. y canto de 19 mm.

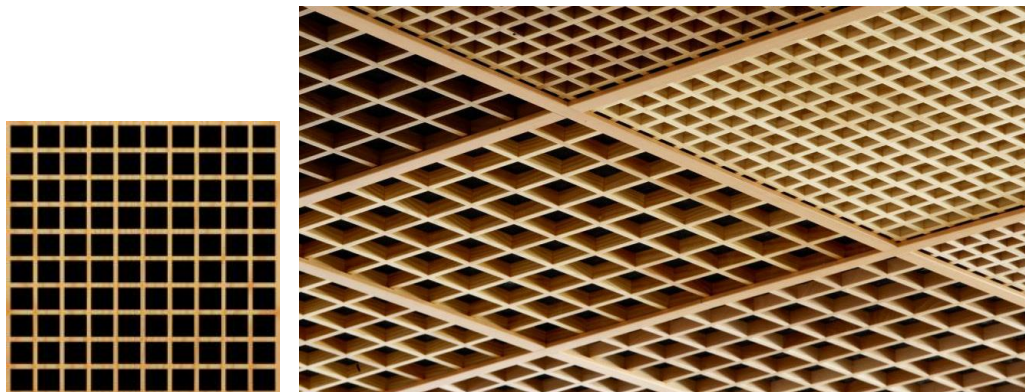


Figura 6.bbbbb. Modelo Panel Rejilla. Fuente: www.taor.es

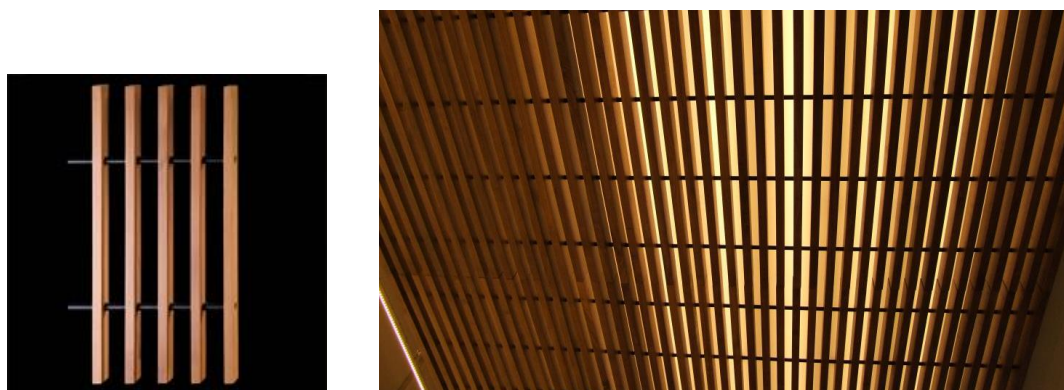


Figura 6.cccccc. Modelo Idealux. Fuente: www.taor.es

Carpintería Paco, evidentemente española, a través de su línea "Spigo Acoustic", dispone de modelos perforados de superficie vista acanalada para techos y paredes. La colocación se realiza por sistema oculto de clipado, mientras que el acabado puede ser lacado, chapado de madera natural o melamínico. Las placas llevan velo de protección en el dorso.

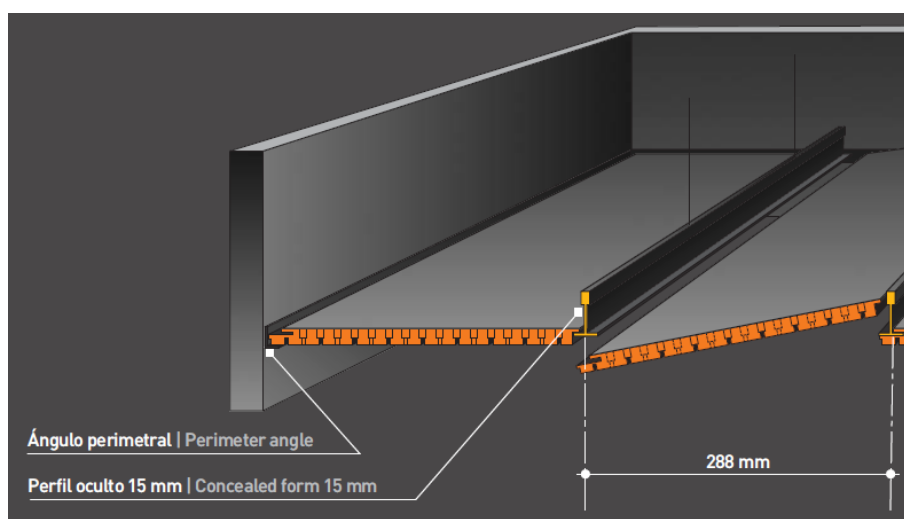


Figura 6.ddddd. Clipado modelo Spigo Acoustic. Fuente: www.carpinteriapaco.com

Y también tiene el modelo "Spigotec", con un sinfín de opciones del formato de perforaciones.



Figura 6.eeeee. Distintos formatos de perforaciones. Fuente: www.carpinteriapaco.com



Figura 6.fffff. Modelo Virgo 74 colocado. Fuente: www.carpinteriapaco.com

La marca también española **Woodsound**, tiene placas perforadas y ranuradas tradicionales, en tablero DM de 12 y 16 mm de espesor, y otras más originales, mezclando perforaciones circulares con ranuras, como los modelos "Sitges", "Palou", "Arboç", "Vic", "Monzón", y "Vendell". El acabado puede ser de chapa de madera natural (roble, arce, haya, cerezo), melamina (roble, cerezo, haya, cedro, peral) y lacado (cualquier color de tabla RAL). El ranurado puede ser tipo "Autel" y "Lloret". Las dimensiones pueden ser de 60x60 y 60x120 cm. Todos llevan incorporado velo de protección trasero.



Figura 6.ggggg. Modelo Arboç colocado. Fuente: www.woodsound.net

También tiene modelos de apariencia de enlistonado, como el "Bruselas" que combina ranuras por la cara vista y perforaciones por la cara oculta.

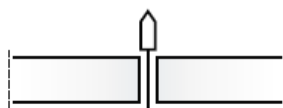


Figura 6.hhhhh. Modelo Arboç colocado. Fuente: www.woodsound.net

Notson, también española, dispone de modelos de placas perforadas y ranuradas, con núcleo en tablero aglomerado o DM en múltiples acabados, con múltiples soluciones para perfilaría visa u oculta y para techos o revestimiento de paredes.

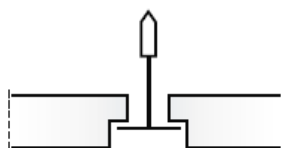


COLOCACIÓN EN TECHOS



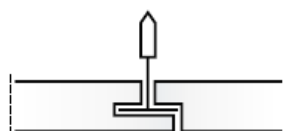
PERFILERÍA VISTA DESMONTABLE

Placas lisas por un extremo apoyadas sobre perfilaría de 24mm primaria y secundaria.



PERFILERÍA SEMIVISTA DESMONTABLE

Placas mecanizadas perimetralmente apoyadas con perfiles L de 24mm primaria y secundaria.



PERFILERÍA OCULTA DESMONTABLE

Placas mecanizadas perimetralmente y montadas con perfil L de 24mm, incluyendo barras para galgar y escuadras de fijación.

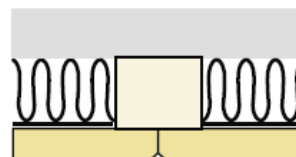


PERFILERÍA OCULTA NO DESMONTABLE

Placas mecanizadas perimetralmente y apoyadas sobre L de 24mm, primaria y secundaria.

COLOCACIÓN EN PAREDES

Colocación placas sin junta



Colocación con juntas vistas

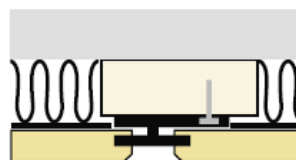


Figura 6.iiii. Detalles de montaje de los paneles acústicos Notsound. Fuente: www.notsound-acustica.com

La empresa especializada en tablero fenólico, **Prodema**, en su gama de tableros para interiores, dispone de una colección de paneles perforados y ranurados llamada "Auditorium", con alma compuesta de madera MDF y lámina delgada de madera natural de 0,8 mm de espesor, en

numerosos acabados (arce, haya, cerezo, roble, cedro, nogal, wengué), y en diferentes tipos de perforaciones.

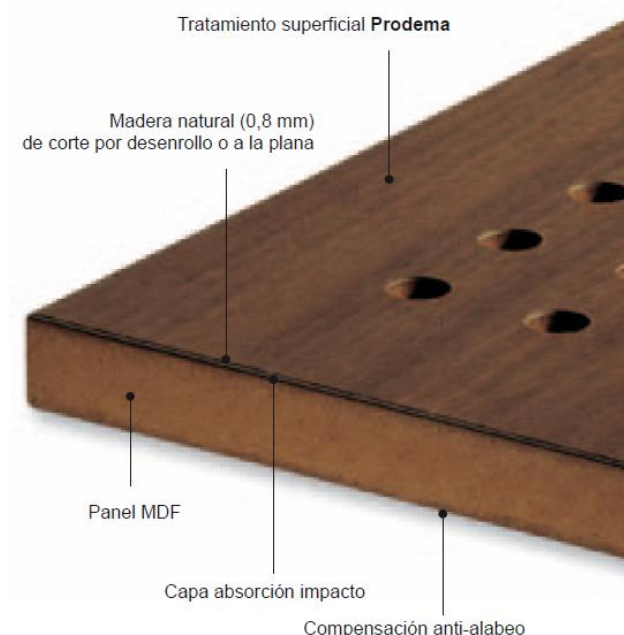


Figura 6.jjjjj. Modelo Auditorium. Fuente: www.prodema.com

La suiza **Tavapan**, ofrece tres colecciones: "Universel", que son piezas de perforación circular rectilínea de estilo depurado, "Intemporel", que es un panel de superficie alveolada de 24 mm de espesor y ranuras regulares de 4 mm de ancho (que es una reproducción fiel de una estructura resonadora de cavidad), que no requiere absorbente trasero, y "Crèatif", de cara vista acanalada.



Figura 6.kkkkk. Modelos de izquierda a derecha Universel, Intemporel y Crèatif. Fuente: www.tavapan.ch

La empresa italiana **Pream** en su gama denominada "Screenball" de piezas en cara vista acanalada, tiene modelos cuya superficie presenta impresa texturas y dibujos originales (arabescos, escamas, flores, motivos geométricos) y una gran gama de colores. Además, existe una opción de superficie de relieve en forma de puntas de diamante.

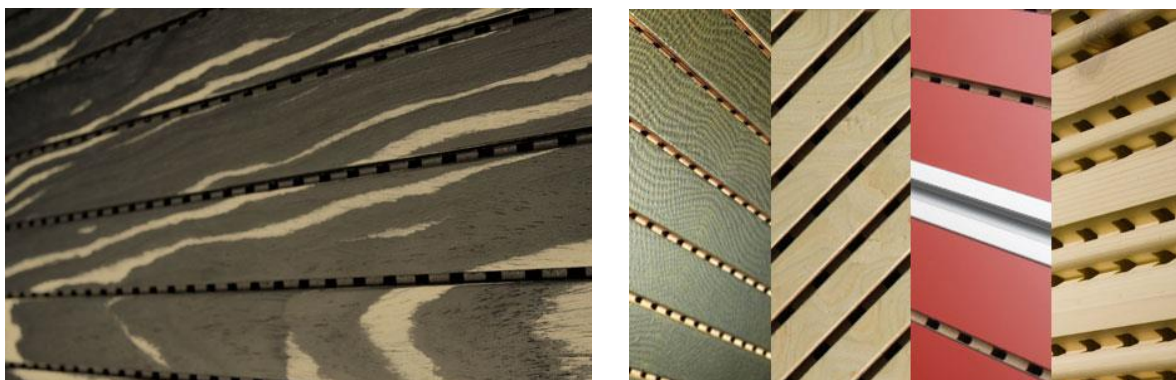


Figura 6.IIIII. Gama Screenball. Fuente: www.pream.it

Hunter Douglas, además de las series de falsos techos de madera continua (sistemas "Lineal abierto" y "Lineal cerrado"), dispone de la serie desmontable de madera maciza lineal denominada "Grid", dentro de la marca Luxalon, de lamas verticales sujetas entre sí por medio de pasadores en disposición de parrilla, suspendidas por sistema de clipado a rieles ocultos transversales. La gama contempla 12 acabados.

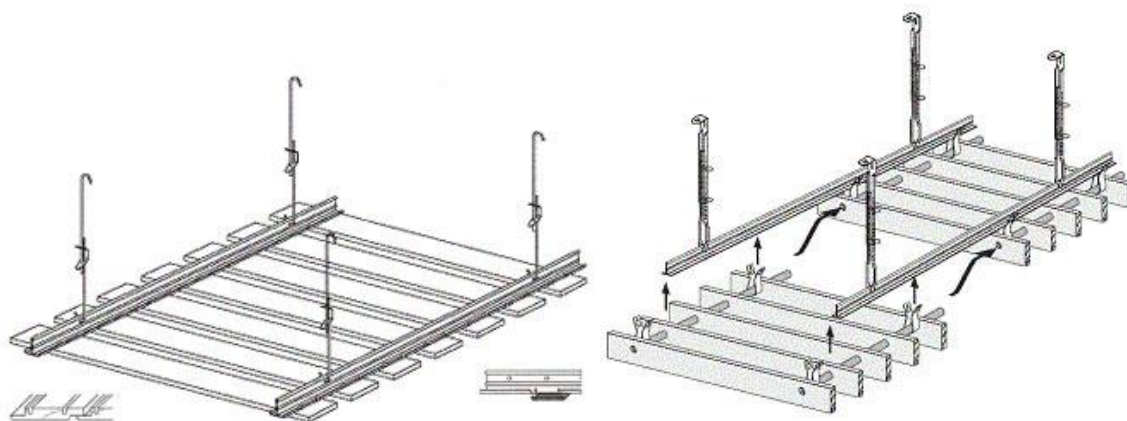


Figura 6.mmmmm. Sistema Lineal abierto (izquierda) y Grid (derecha). Fuente: www.hunterdouglascontract.com

Otras empresas que simplemente nombraremos son:

Acústica Integral con el modelo "Acustiforo". **Armstrong**, dispone de la serie "Woodworks". **AMF**, que pertenece al Grupo Knauf, dispone de una gama llamada "Symetra". **Oberflex**, con la gama "Ekosound". **Decoustics** con la colección "Madero". **Egger** dispone de la gama "Pro Acoustic". **Porcelanosa**, Butech. **Auralex**, dispone de piezas perforadas en madera de bambú. **Mecanitzats** con la gama "Decustik". **Borja y Bermejo** dispone del original panel "Extracustic". **Jocavi** dispone de modelos denominados: "Add Morse", "Add Saturn", "Add Galaxy" y "Add Sorb". **Pinta Acoustic** dispone de "Bioline". **Vicoustic** series "Vari Panel" y "Wave Wood". **Mecakim** ofrece distintos paneles con perforaciones y ranuras. **Ceiling Plus** dispone de la colección denominada Radians, destacan las series "Random", "Rectangular", "Round", "Square" y "Obround". **Marotte** dispone de variados modelos de las colecciones "Sucursales" y "Lluvia". **Ceilings Plus** dispone de la gama denominada "Al boreal". **Lambri**, con distribución en nuestro país a través de Tap Exclusivas, dispone los denominados "Lawapan", "Topline" y "Soundtube".

6.5.4 Sistemas metálicos perforados para falso techo.

Tienen una gran presentación estética, y con la aparición de nuevos modelos, el uso de los falsos **techos metálicos perforados** se está extendiendo cada vez más. Además, también pueden aplicarse como revestimiento de paredes. En realidad en los últimos años han evolucionado mucho por lo que ahora mismo existe una amplia gama de modelos en variadas marcas. Se componen de piezas modulares delgadas de acero o aluminio, con material absorbente poroso trasero de hasta 30 mm de espesor, sujetas a perfiles que constituyen la estructura por la que son anclados. Los primeros suelen tener forma de "T" invertida, con acabado prelacado y posibilidad de aplicar distintos colores (hay fabricantes que ofrecen una gama de más de 25).



Figura 6.nnnnn. Falso techo metálico con perforaciones cuadradas. Fuente: www.knauf.es

Las placas que lo forman pueden ir apoyadas, descolgadas o enrasadas, dejando o no a la vista los perfiles de sujeción. Estas están fabricadas normalmente en forma cuadrada o rectangular, denominándose **bandejas**, o bien **lamas** si son estrechas y largas. Sus cantos pueden ir achaflanados, rectos o biselados. Las bandejas o lamas con aplicación acústica son perforadas, normalmente en 4 variantes: perforado circular, perforado cuadrado (troquelado, de gran apariencia estética), ranurado y microperforado, llevando todas absorbente poroso protegido con un velo textil.

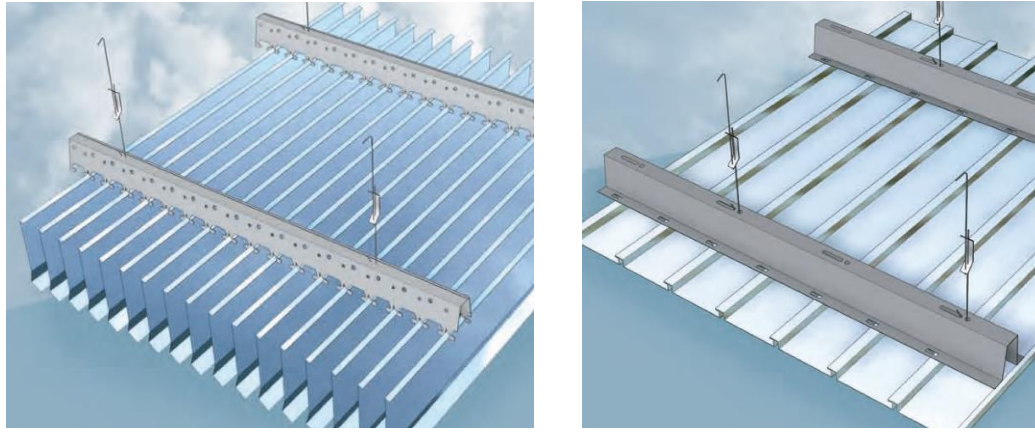


Figura 6.00000. Posición de lamas descolgadas (izquierda) o enrasadas (derecha). Fuente: www.knauf.es

Veremos también en este apartado los falsos techos de **rejilla o cuadrícula** (muy utilizados en la actualidad), por ser los mismos fabricantes los que tiene estos materiales, aunque el comportamiento de estos es un tanto diferente de los perforados, pues en este caso la superficie de exposición del material poroso absorbente que lo acompaña es mayor, por lo que la mayor absorción se produce a altas frecuencias.

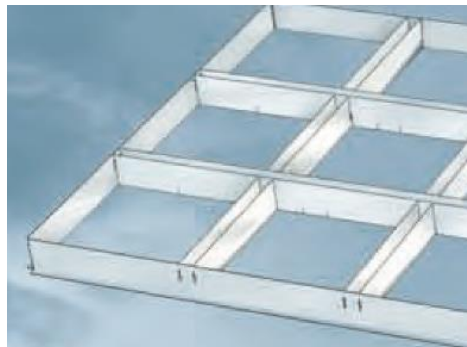


Figura 6.ppppp. Retícula o cuadrícula. Fuente: www.knauf.es

Finalmente el **metal desplegado** es una malla metálica formada de una sola pieza, sin costura ni soldadura alguna, que presenta una serie de figuras geométricas en forma de rombo o diamante. Son de diversos calibres, dimensiones, tipos de acabado, colores y formas de presentación. Su utilización tradicional ha estado reducida a determinadas aplicaciones, pero actualmente es un recurso estético muy utilizado. Como en el caso anterior su comportamiento acústico es el del absorbente poroso del que van acompañados (absorción a altas frecuencias).

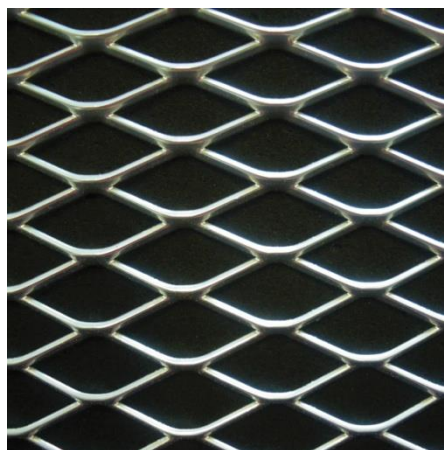


Figura 6.qqqqq. Falso techo metálico de metal desplegado. Fuente: www.pinta-elements.com

La multinacional **Armstrong** tiene la gama de techos metálicos tradicionales “Orcal”, que son piezas suspendidas de gran formato, de perfil plano o curvado, con alta reflexión luminosa, para colocarse de forma aislada o agrupada. Otro producto son las mallas de metal desplegado también colocadas con absorbente y con velo protector que se percibe a través de los espacios que quedan entre.

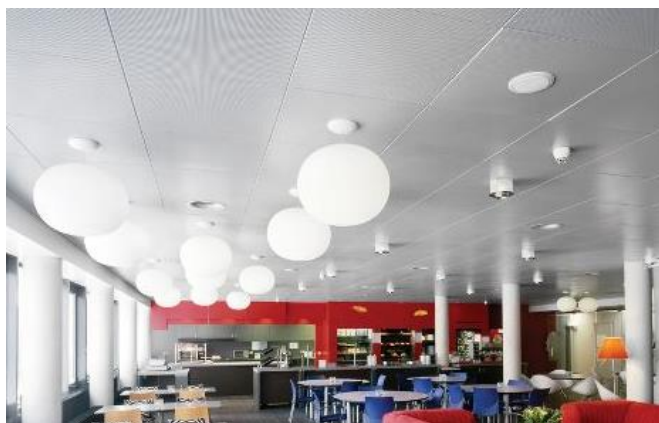


Figura 6.rrrrr. Falso techo metálico. Fuente: www.armstrong.es

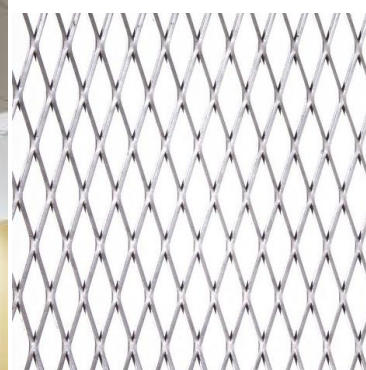


Figura 6.sssss. Falso techo metálico. Fuente: www.armstrong.es

AMF del Grupo Knauf, a través de su modelo "Thermatex Kombimetall", combina una superficie metalizada perforada con un núcleo de lana mineral, en placas de 21 mm de canto, en color blanco y máxima absorción sonora a la frecuencia de 2.000 Hz, con dos sistemas de instalación. El mismo

fabricante Knauf dispone de una colección de piezas para techos metálicos perforados en: bandejas, modelo "Ras" y "Mekano"; en lamas, modelo "Compak"; y en retícula, modelo "Reja Macrocélula".

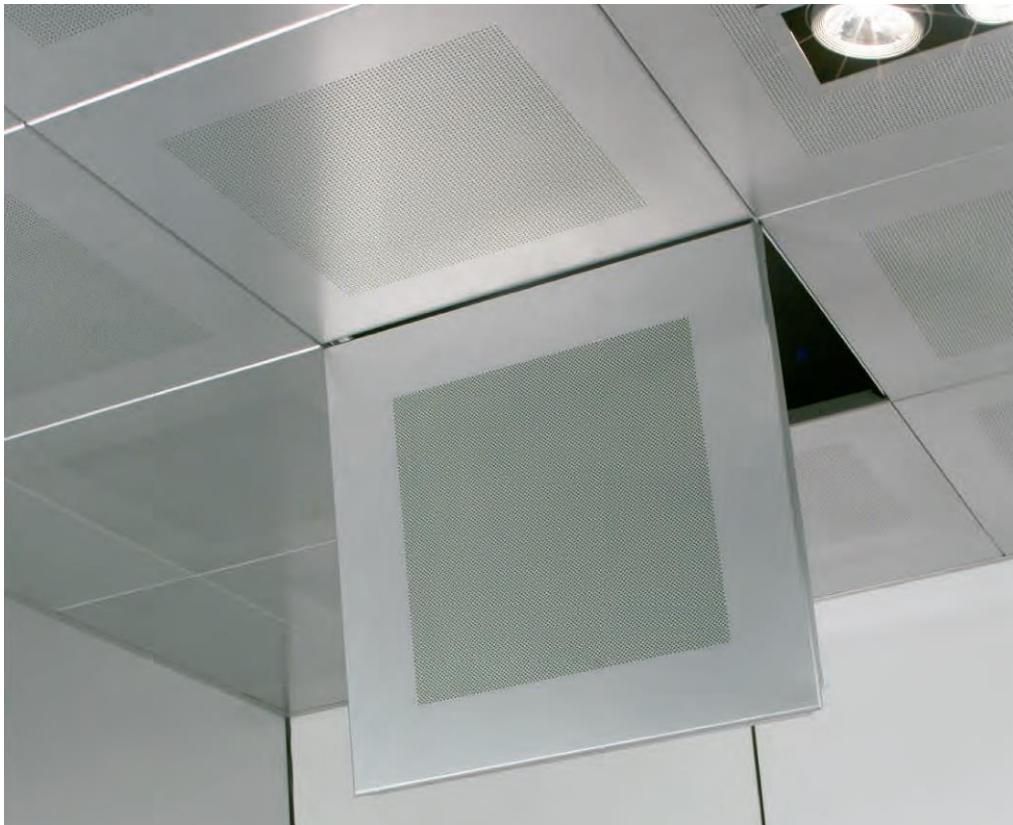


Figura 6.tttt. Falso techo registrable modelo Ras. Fuente: www.knauf.es



Figura 6.uuuuu. Falso techo registrable modelo Macrocélulas. Fuente: www.knauf.es

La multinacional **Hunter-Douglas**, con muchos años de experiencia en este sector, dispone de una enorme variedad de productos para techos metálicos con las tradicionales bandejas y lamas perforadas en aluminio. Con las series "Lineal" y "Panel ancho" en la que aumenta el ancho de las bandejas, hasta los 30 cm. Además dispone de un falso techo curvo con paneles rectos en una propuesta de un diseño diferente. Este techo es posible utilizando en casi toda la serie "Lineal".



Figura 6.vvvvv. Techo metálico Modelo Durlum. Fuente: www.hunterdouglascontract.com

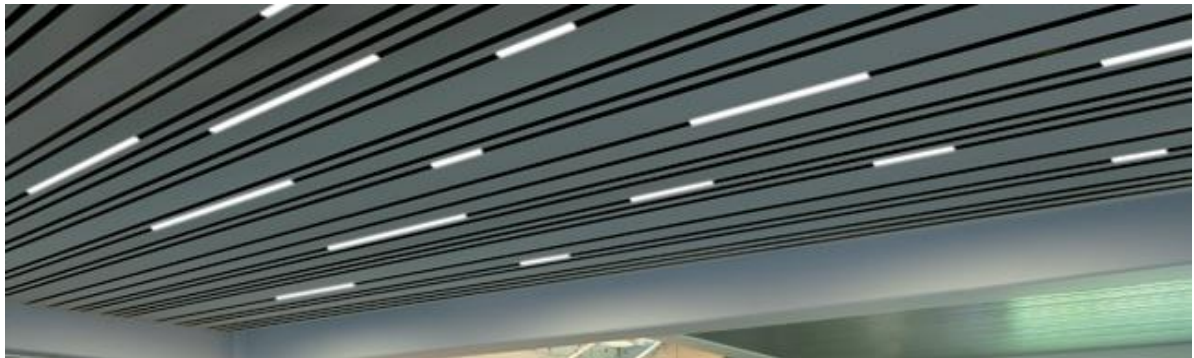


Figura 6.wwwww. Techo metálico serie Lineal modelo Multipanel. Fuente: www.hunterdouglascontract.com

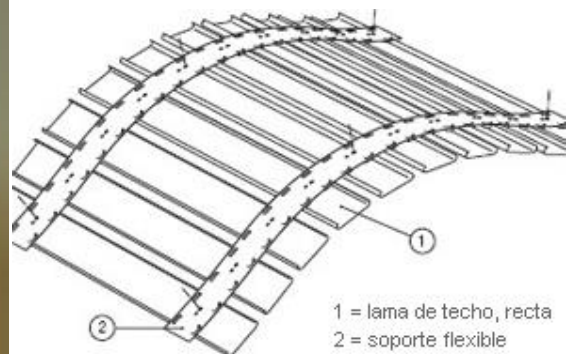


Figura 6.xxxxx. Techo metálico de soporte curvo. Fuente: www.hunterdouglascontract.com

Acústica Integral dispone de paneles modulares denominados “Acustison” y “Acustimódul” de alta resistencia mecánica con núcleo de material absorbente y acabado prelacado de mayor durabilidad. Fácil y rápido sistema de montaje. Multiperforado con 4 distintos diámetros que mejora el índice de absorción de la tradicional chapa perforada. Buen diseño único y acabado.

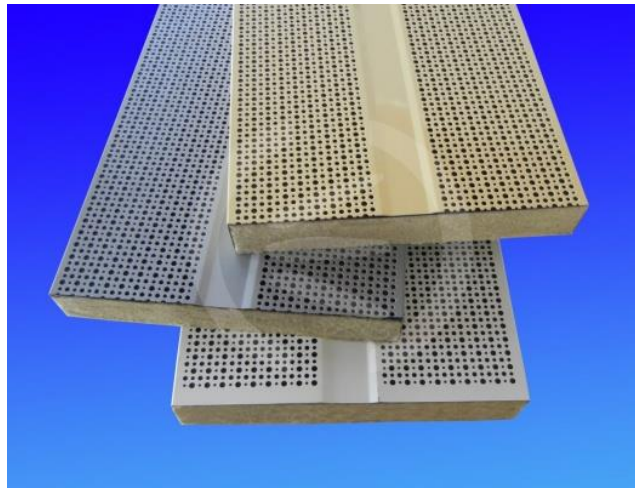


Figura 6.yyyyy. Paneles modulares Acustison 50ª. Fuente: www.acusticaintegral.com

Pinta Acoustic Parecidos destaca ofrece, además de los típicos paneles metálicos, como los modelos "Squareline" y "Elegance", que disponen de porcentaje de superficie absorbente superior al 70%, por lo que la máxima absorción se produce a frecuencias por encima de los 2.000 Hz. Está fabricado en metal estirado (lacado en blanco o cromado) al que se le añade un panel de material absorbente poroso trasero. Disponible en 3 variantes de tamaño de la malla.

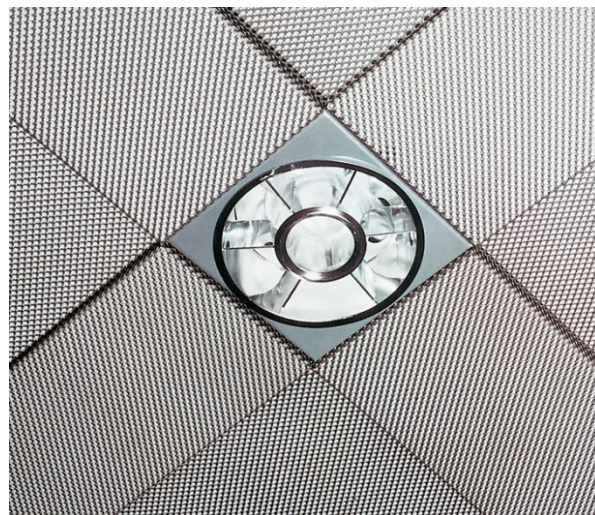


Figura 6.zzzzz. Falso techo metálico desplegado. Fuente: www.pinta-elements.com

Otras empresas:

La alemana **Owa** dispone de la serie "Owatecta". **Lindner** tiene sus modelos "Crossdesign" y "Brandraster". **Sistemas Sal. SAS International**, con originales los modelos "Tubeline". **Reca** tiene varios modelos de bandejas perforadas en la gama "Recadecor". **Gradhermetic** dispone del modelo "Phalplac". **Schako**, ofrece la gama "Audimin".

6.5.5 Composites y plásticos perforados.

Tal como se ha comentado con anterioridad están llegando al mercado nuevos productos fruto de la investigación y del reciclado. Así ya existen formatos estándar con estos productos para su colocación en obra.

Tal es el caso de la empresa **Duralmond**, con un material que lleva este mismo nombre, con el que realiza numerosos productos con diseños vanguardistas. Dicho material es un composite que se obtiene al mezclar resinas sintéticas y naturales, cáscara de almendra triturada y otros aditivos. Es Biodegradable, reciclable, ligero, hidrófugo (ideal para zonas húmedas), con buenas propiedades acústicas, y adecuado comportamiento al fuego (Cs2,d0), idóneo para interiorismo y decoración.

Entre sus diseños ofrece “el tambor acústico fonoabsorbente”. Se trata de una pieza mixta, compuesta de un receptáculo con forma de caja construido con el material "duralmond" y un interior de material absorbente de fibras minerales, y cerrado por la tapa. La cara vista tiene grandes orificios cónicos por los que se canaliza el sonido a las zonas de absorción acústica. La pieza tiene un gran coeficiente de absorción acústica y una singular estética. Se ofrecen varios modelos, y dos sistemas de instalación, de perfilera semioculta y perfilera oculta tradicional.



Figura 6.aaaaaa. Composición del tambor acústico fonoabsorbente. Fuente: www.duralmond.com

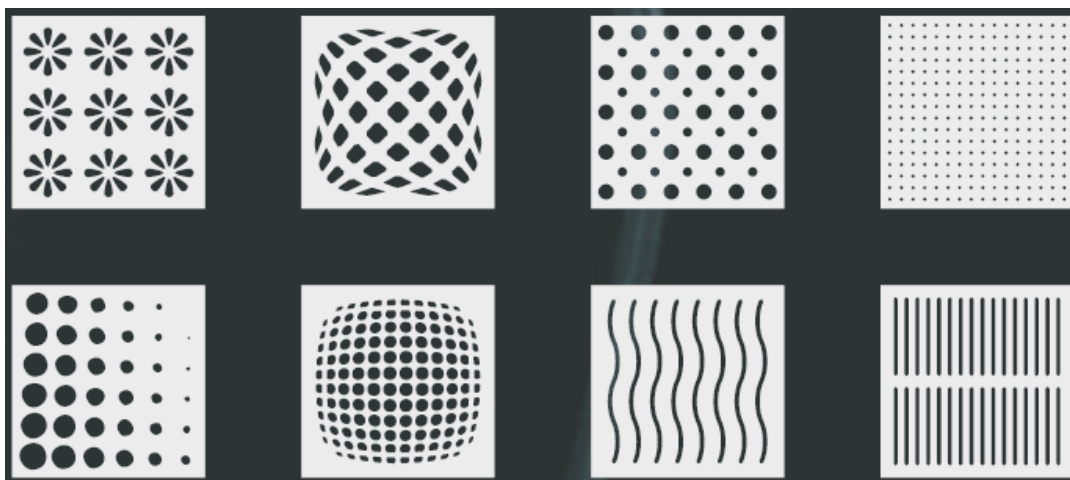


Figura 6.bbbbbb. Modelos del tambor acústico fonoabsorbente. Fuente: www.duralmond.com

La empresa madrileña **Decordyn** dispone de falsos techos termoplásticos, para instalar con perfilaría, como el modelo "Infinito 24/6", o sin ella como el modelo "Reticular 65", que son piezas que se fijan para componer un panel mayor y posteriormente anclarlo al paramento base del techo. Permite integrar luminarias en las piezas. Se instalaría un material poroso en la parte trasera con velo de protección, lo que absorbería altas frecuencias.



Figura 6.cccccc. Falso techo modelo Infinito 24/6. Fuente: www.decordyn.com

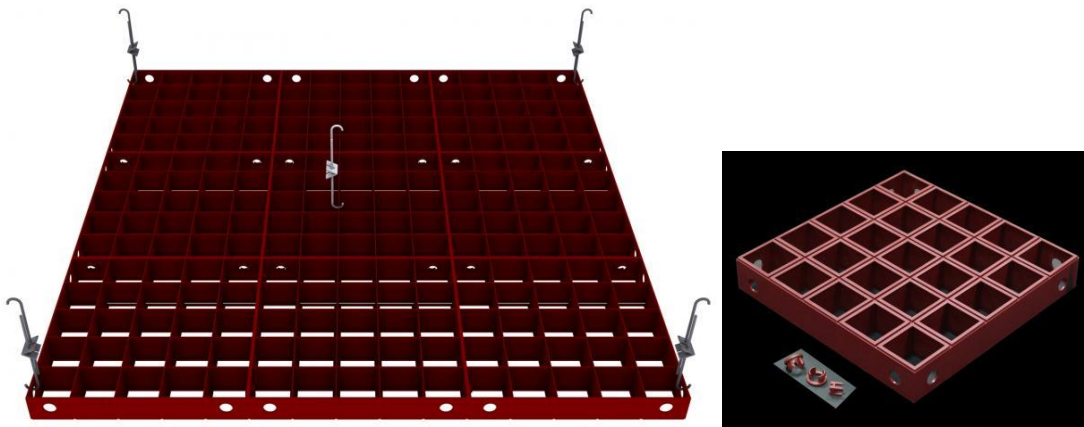


Figura 6.dddddd. Falso techo modelo Reticular 65. Fuente: www.decordyn.com

La empresa **Duralmond**, famosa por sus vanguardistas diseños en paneles composite, tiene una gama que denominan "Paneles fonoabsorbentes". Se trata de piezas mixtas, compuesta por módulos compactos a modo de cajas, que contienen una cara trasera opaca, una vista perforada o ranurada y material absorbente poroso en el interior. Con singular estética, ofrecen varios modelos y 2 sistemas de instalación: de perfilaría semioculta y oculta.

Otros producto original, en superficie perforada es el modelo "Lucentline" de **Pinta Acoustics** (antiguo Illbruck), que son placas de copoliéster extruido, con modalidad de perforación cuadrada o redonda y porcentajes de perforación entre el 7 y el 20%. Se colocan sobre perfilaría tradicional de falsos techos suspendidos.

7. EL CONFORT ACÚSTICO.

Hablamos en el apartado 4 del marco legal, o sea la exigencia mínima que normativamente hay que cumplir. El DB HR [N1] determina esta exigencia, pero hay que tener en cuenta que tan sólo nos marca unos mínimos, es decir, determina un umbral para que a la hora de construir haya una preocupación mínima por el diseño, la elección de los materiales y la ejecución de la obra, pero en absoluto debemos de pensar en cumplir este mínimo y que el acondicionamiento vaya a alcanzar un nivel aceptable, pues las condiciones que se consideran para esta exigencia mínima a menudo son estándar, distando en ocasiones de la realidad. La exigencia se fija siempre partiendo de datos generales, pero no es lo mismo que el local esté ocupado por un número de personas que es la media de los ocupantes de todo el año, que en los momentos de máxima ocupación durante acontecimientos puntuales, que podría llegar a ser todo el fin de semana en nuestro caso.

Como lo que determina la calidad de los edificios construidos es el resultado final, es decir, el grado de satisfacción de los usuarios, y además esto es primordial en bares y restaurantes, un alto grado de confort provocará que la clientela esté a gusto, lo que se traducirá en un mayor número de asistentes, pudiendo así amortizar la inversión realizada.

También es interesante poder saber qué grado de confort acústico posee un local, estudiando ciertas características “clave” del mismo, lo que a su vez nos informa de lo que tenemos que cuidar antes de construir para conseguir el objetivo.

7.1 Elección de los materiales para el confort.

Hemos visto que la normativa parte del tratamiento del techo para acondicionar acústicamente un local, y posteriormente en caso de que esto no sea suficiente, actuaremos en los paramentos verticales o en elementos singulares absorbentes, independientes o en grupos, que podrían estar suspendidos, y que a su vez ser decorativos. Vamos a hacer un recorrido por los materiales utilizados en las distintas unidades de actuación, puntualizando en sus características importantes de cara a conseguir el máximo confort.

Recordemos que la base del acondicionamiento será la absorción acústica de estos materiales, por lo que debemos considerar los siguientes aspectos: el rango de frecuencias de la voz humana está, aproximadamente, entre los 80 y los 8.000 Hz, y el oído humano posee **sensibilidad máxima para las frecuencias medias** (desde unos 1.000 a 5.000 Hz) y mucho menor para aquellas de los extremos, siempre hablando para un mismo nivel de presión sonora, con lo que del cruce de esto dos datos se deduce que los materiales idóneos serán los que absorban más frecuencias medias.

7.1.1 Pavimentos.

Es evidente que será el último paramento sobre el que actuemos para dotarlo de absorción acústica. Sin embargo a la hora de elegir el pavimento, si existiese la posibilidad de escoger el de mejor comportamiento acústico, esto incrementaría el confort del local.

En la mayor parte de los espacios de uso público son deseados los solados de superficies duras y lisas, fácilmente limpiables, pero que son altamente reflectantes en cuanto al sonido se refiere. En este caso los criterios de elección de facilidad de mantenimiento, durabilidad, antideslizamiento, chocan con los de buen comportamiento acústico. Este vendrá determinado por su composición, sistema de instalación y acabado superficial, pudiendo dividirlos para su estudio en dos grandes grupos: los reflectores al sonido y los absorbentes, cada uno de los cuales está indicado para una de las finalidades anteriores pero no para la otra.

7.1.1.1 Pavimentos reflectores

Provocan la reflexión de las ondas sonoras por ser materiales sólidos, resistentes, con acabado de superficie, normalmente, lisa y plana. Son buenos materiales en cuanto a limpieza y desgaste, pero nada o muy poco absorbentes en cuanto a las ondas sonoras.

Los continuos, cuando son duros, como el hormigón (pulido o impreso), el microcemento, los de resinas, presentan valores bajos de los coeficientes de absorción en todo el espectro de frecuencias.

Los suelos de **baldosas** van en despiece regular y son de piedra pulida (mármol, granito, pizarra, caliza, arenisca), cerámica (barro, gres), terrazo, acero (chapa lisa, estampada), disponen, también, de baja absorción (coeficientes menores a 0,05), por ser superficies altamente reflectoras al sonido.

Los suelos de lamas o tableros de **madera**, sin rastreles, colocados sobre capa elástica delgada (espuma de polietileno reticulado), denominados parquets o laminados flotantes, tampoco disponen de absorción apreciable, pues los acabados suelen ser capas continuas y muy duras. En este material, solo las tarimas sobre rastreles tienen algo de eficacia (y solo a tonos graves), por funcionar como resonadores de cavidad.

Los **flexibles** (de espesor delgado) tipo linóleo, caucho, corcho y vinílicos, en forma de losetas o rollos, presentan una absorción ligeramente superior. A este grupo pertenecerían, también, los "tatamis", usados, comúnmente, en recintos deportivos.

Los **metálicos** con cámara inferior, presentan algo de absorción a bajas frecuencias.

7.1.1.2 Pavimentos absorbentes.

Estos van a tener algo de eficacia en el acondicionamiento acústico, aunque en cuanto a limpieza y desgaste se verán más castigados, al ser los bares y restaurantes lugares muy transitados.

Los **pavimentos textiles** presentan, normalmente, elevados coeficientes de absorción, sobre todo a altas frecuencias, como los tipo moqueta o incluso mejores los de las alfombras. Aunque

probablemente sean los menos indicados para estos lugares, por los aspectos anteriormente vistos, y además por la exigencia de protección contra incendios.

Decíamos en el apartado anterior que la **madera** en tarima para pavimentos tiene algo de absorción, pero a bajas frecuencias, al funcionar como resonador de membrana, siempre que el espesor de aire de la cámara creada sea superior a los 4 cm.

Para que nos hagamos una idea, los estrados y escenarios de madera en locales públicos con gran espacio inferior, proporcionan importantes unidades de absorción a muy bajas frecuencias, si el pavimento no es de mucha densidad o espesor, influyendo también el tipo de sujeción (rigidez).

Los **suelos técnicos** o pavimentos elevados registrables (figura 7.a) tienen la absorción que tiene el acabado visto de la baldosa. Aunque presentan un ligero buen comportamiento a bajas frecuencias por efecto de la cámara existente bajo ellos (actúa como un resonador de membrana). **La frecuencia de máxima absorción se acerca más a las frecuencias audibles del espectro sonoro humano cuanto menor sea la cámara,**



Figura 7.a. Suelo Técnico. Fuente: www.ibermodul.com

Las soleras secas, realizadas con placas de yeso laminado especiales, de gran dureza, tienen la absorción acústica que tiene el pavimento de acabado que llevan (baldosa, moqueta, laminado de madera), teniendo una leve absorción a bajas frecuencias por lo mismo que visto anteriormente.

En la tabla 7.a se pueden ver ejemplos de pavimentos de los dos grupos anteriores, con sus coeficientes de absorción (α) a distintas frecuencias.

Tipo suelo	Material	Frecuencias					
		125	250	500	1.000	2.000	4.000
Reflector	Mármol	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
	Linóleo	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
	Parquet	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07

Absorbente	Tarima madera	0.20	0.15	0.10	0.08	0.06	0.07
	Suelo técnico baldosa dura	0.35	0.25	0.15	0.10	0.04	0.03
	Moqueta	0.09	0.10	0.21	0.26	0.30	0.40

Tabla 7.a. Coeficientes de absorción de algunos pavimentos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

7.1.2 Revestimientos verticales.

Santiago Valero [3] realiza la siguiente clasificación para analizar su comportamiento:

- Continuos (estucados, pinturas, papeles pintados, vinílicos, fotografía impresa, textiles directos).
- Aplacados duros, en distintos acabados (plaquetas cerámicas, chapados de piedra).
- Trasdosados o empanelados lisos, normalmente, con cámara (ligeros, plásticos, tableros de madera, metálicos),

7.1.2.1 Revestimientos continuos.

Son: el microcemento, revocos, estucados, pinturas, papeles pintados, fotografía mural impresa. Como norma general son muy reflectantes al sonido. Pueden disponer de cierta absorción a bajas frecuencias si el soporte sobre el que van funciona como membrana resonadora (por ejemplo un tablero de madera sobre rastreles ocultos).

La variante de los **textiles** sí que nos proporciona un revestimiento con buenas características para el acondicionamiento acústico. Incluso de no ser muy absorbentes por porosidad, en vez de ir pegados directamente al paramento base, pueden ir colocados con rastreles formando una cámara de aire con este (que puede ir rellena de material poroso). Tal es el caso de los **entelados** y el **cuero**, comportándose este mejor que ellas tanto al desgaste como a la absorción de medias frecuencias (si la piel es gruesa). Las **entelinas foamizadas** son una tela con cara posterior de foam o muletón (como los tapizados de sofás), pueden ir pegadas directamente a la pared, sin cámara, pero, para que tengan aplicación acústica, su densidad superficial debe ser superior a 500 kg/m².

Es de resaltar que el mundo textil evoluciona con la aparición de gran número de nuevos productos de buena presentación estética, procedentes sobre todo del mundo anglosajón y nórdico, fabricadas expresamente para el confort acústico, con gran variedad de formatos y texturas (para colocación continua o puntual).

En la tabla 7.b se muestra una comparación de coeficientes de absorción de dos revestimientos continuos.

Frecuencias	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Guarnecido y enlucido pintado	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04

Entelina foamizada con absorbente poroso trasero	0.10	0.35	0.50	0.75	0.85	0.90
--	------	------	------	------	------	------

Tabla 7.b. Coeficientes de absorción de revestimientos continuos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

7.1.2.2 Aplacados.

Suelen ser muy reflectantes al sonido, pues se realizan con piezas que presentan una superficie lisa, , como los cerámicos con superficie vidriada, la piedra artificial o la natural pulida o apomazada (mármol, granito, pizarra, arenisca), pero algunas piedras muy porosas (como la caliza o el mármol travertino), que incrementan ligeramente sus coeficientes de absorción a altas frecuencias. Los acabados más rugosos, como el abujardado, flameado o la piedra natural envejecida, contribuyen a la difusión sonora. Lo mismo ocurre con la disposición horizontal en lajas de algunas piedras.

En la tabla 7.c se muestran algunos valores de coeficientes de absorción de aplacados duros:

Frecuencias	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Mármol	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Piedra porosa	0.01	0.04	0.10	0.20	0.35	0.45

Tabla 7.c. Coeficientes de absorción de aplacados duros. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Podemos observar que la piedra porosa empieza a tener una absorción considerable a partir de 1.000 Hz (el rango que nos interesaba era el de entre 1.000 y 5.000 Hz).

7.1.2.3 Empanelados lisos blandos a la flexión.

La **madera** es el material principal para hacer un resonador de membrana con tableros lisos de aglomerado, contrachapado, OSB, DM, MDF, fenólico, laminado, etc. Los acabados pueden ser diversos, pues no influye en la absorción, a no ser que la madera sea muy porosa y que se le deje el poro totalmente abierto, lo que está contraindicado para su vida útil. Recordemos que es más eficaz a bajas frecuencias, es decir, tonos graves (en función del espesor de la cámara y la densidad o el espesor del tablero, modo de fijación y distancia), aumentando las frecuencias de absorción en caso de ir perforada y con absorbente poroso en la cámara.

Los **composites** son materiales de comportamiento similares al de la madera, por sus características flexibles y la consistencia del material.

El **metal** es un material muy utilizado en decoración vanguardista, con el que se pueden hacer resonadores de membrana. Presenta normalmente superficie pulida (en acero inoxidable, acero galvanizado, aluminio, cinc, latón), aunque algunos pueden presentarla algo rugosa por el acabado que llevan (como el acero corten).

Pueden colocarse como láminas gruesas (espesores mayores a 3 mm), con cámara trasera para absorción a bajas frecuencias (graves) al comportarse como un resonador de membrana. Tal como

hemos visto pueden ir microperforadas con material absorbente poroso en la cámara, lo que hace que tenga altos coeficientes de absorción a medias frecuencias.

7.1.3 Falsos techos.

Es la primera superficie sobre la que se actúa para regular las condiciones acústicas en el interior de los recintos, por ser la única superficie disponible, o en la que con mayor facilidad puedes actuar. El espesor de la cámara o plenum (donde discurren canalizaciones de instalaciones) incide en sus propiedades acústicas.

Según su tipología, los falsos techos se pueden clasificar en **continuos** (con perfilaría oculta y con placas de escayola o yeso laminado con la junta tratada de manera que queda oculta) o **modulares** (piezas colgadas en una retícula de perfiles vistos, siendo la mayoría registrables).



Figura 7.b. Falso techo continuo. Fuente: propia.

En ambos casos, si los paneles son de material “duro” (escayola, yeso laminado, madera, metálicos y composites) y textura lisa (sin perforar), pueden presentar absorción a bajas frecuencias, siempre que dispongan de la densidad adecuada y el espesor de la cámara de aire esté entre 5 y 40 cm, aumentando la absorción a más elevadas frecuencias si son perforados o ranurados y llevan material absorbente poroso en el plenum. Hay modelos que ya lo llevan integrado en su cara trasera (suele ser lana de roca o vidrio de delgado espesor protegida por velo natural, acústicamente transparente al sonido).

Los materiales “blandos” son los porosos o fibrosos (lanas minerales, naturales, espumas) y los textiles, que serían eficaces a altas frecuencias.

El anclaje de la perfilería es importante, sobre todo en el caso de materiales duros con cara lisa, pues centran toda su eficacia en el funcionamiento como resonadores de membrana, con lo que cuanto más rígido sea el anclaje, menos vibración va a soportar para un mismo panel.

7.1.4 Otros elementos.

Las **ventanas** al ser la mayor parte de su superficie vidrio, que es un material altamente reflector al sonido, no aportan absorción. Esto ocurre, igualmente, con las mamparas de cristal. Las **puertas** (metálicas y de madera) sí pueden aportar algunas unidades a bajas frecuencias, siempre que no sean macizas. En la tabla 7.d se muestra, para que nos hagamos una idea, la absorción de ventanas y puertas de madera (no maciza):

Frecuencias	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Ventana	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
Puerta	0.35	0.20	0.08	0.05	0.04	0.04

Tabla 7.d. Coeficientes de absorción de puertas y ventanas. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Los **lienzos** (grabados, litografías, fotografías) normalmente tienen coeficientes de absorción ligeramente más altos que la pared donde van colgados, pero siempre y cuando no lleven incorporado cristal de protección. Los **tapices** tienen mayor eficacia.

En cuanto a las propiedades acústicas de las **cortinas ó estores en huecos de fachadas**, tal y como se ha visto en materiales, dependen directamente de su densidad y de la distancia a la pared a la que van colocadas. A modo de ejemplo, en el gráfico 7.a se muestran los coeficientes de absorción de una cortina fruncida (en este caso aumenta la absorción, pues aumenta la superficie), montada de dos formas distintas: con una separación media de 15 cm de la pared (a) y adosada a ella (b). **Al separar la cortina de la pared aumenta la absorción a frecuencias graves.**

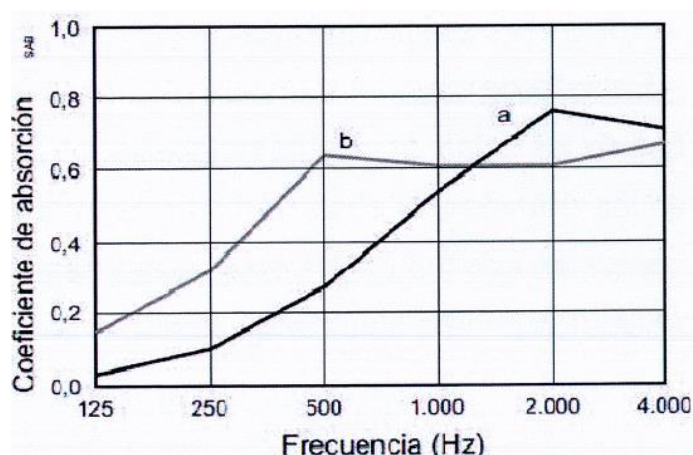


Gráfico 7.a. Coeficientes de absorción de una cortina fruncida: (a) con una separación de 15 cm; (b) adosada. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

En la tabla 7.e se muestran los coeficientes de absorción de algunos tipos de cortinas de tela:

	125	250	500	1000	2000	4000
Tela de algodón, plegada a un 50%	0,04	0,23	0,40	0,57	0,53	0,40
Tela de algodón, plegada a un 75%	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54
Tela aterciopelada extendida 0,35 Kg/m ²	0,04	0,05	0,11	0,18	0,30	0,35
Tela aterciopelada extendida 0,45 Kg/m ²	0,05	0,07	0,13	0,22	0,32	0,35
Tela aterciopelada extendida 0,6 Kg/m ²	0,05	0,12	0,35	0,48	0,38	0,36
Tela aterciopelada plegada a la mitad 0,45 Kg/m ²	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Tela aterciopelada plegada a la mitad 0,60 Kg/m ²	0,14	0,35	0,55	0,75	0,70	0,60

Tabla 7.e. Coeficientes de absorción de algunos tipos de cortinas de tela. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

Las **lámparas** no suelen aportar unidades de absorción importantes por los materiales usados en su fabricación (reflectantes al sonido) y al poco volumen que representan. Algunos modelos modernos, de mayor tamaño, pueden variar las condiciones de difusión sonora (si son numerosas y el volumen del recinto no es muy alto).

Las **encimeras** de barras o mostradores suelen contribuir bien poco a la absorción acústica, pues suelen estar realizadas en materiales duros, sin poros, fáciles de limpiar y mantener, muy reflectantes al sonido (metal, madera maciza, aglomerado sintético, piedra natural, artificial y acrílica). Por otro lado tampoco suponen una gran superficie en cualquier local, aunque por su proximidad a las personas sería más que conveniente que fuesen absorbentes. Volvemos a la lucha constante entre superficie apta para el mantenimiento y resistente al desgaste, y que tenga un buen comportamiento acústico. En este caso es evidente que es prácticamente una herramienta de trabajo (está sometida a un desgaste constante), por lo que no cabe duda que tendrá que cumplir antes lo primero.

Los **manteles** sí que pueden aportar algo de absorción en los casos de gran densidad de mesas (o tamaño grande de éstas), sobre todo si van descolgados y son de textil grueso y foam trasero (mantelería tradicional).

En cuanto al **mobiliario**, los que aportan mayor absorción son los muebles tapizados, butacas, sillones, sofás y estanterías ocupadas por libros. Otros elementos como sillas, arcones, mesas, cómodas, no contribuyen a aportar más absorción pero sí a mejorar la difusión sonora del espacio que los contiene.

El tipo de **tapizado** influye en sus coeficientes de absorción, pues son más altos en los tejidos textiles que en los de piel o cuero.

Las **rejillas o difusores de instalaciones de ventilación y climatización** son otros elementos presentes en los falsos techos de casi todo local público que requiere sistema de ventilación mecánica o climatización, pero su efecto no suele ser importante por el escaso porcentaje de superficie que representar respecto del total de paramentos.

En la tabla 7.f se muestra la absorción de una rejilla normalizada de superficie 1 m², con volumen <0.5 m³ detrás:

Frecuencias	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Rejilla	0.03	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25

Tabla 7.f. Absorción de una rejilla normalizada de 1 m² de superficie con volumen detrás <0.5m³.
Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.

7.2 Cuantificación del confort.

El creciente interés en la mejora de la calidad acústica en la arquitectura interior y, sobre todo, en locales públicos “no acústicos”, como escuelas, oficinas, etc., lleva a la inquietud de poder evaluar la calidad acústica interior de una forma global y que sea fácilmente comprensible para el público en general.

En principio el confort sonoro en el interior de un local convencional parece depender principalmente del número de dB(A) medidos en el ambiente, pero la experiencia demuestra que parece ser un requisito no suficiente para conseguir un ambiente acústico plenamente “agradable”. Resulta evidente que una música o un ruido, ambos del mismo nivel sonoro, pueden, en un mismo comercio, tanto favorecer las compras como inhibirlas o incluso invitar a los clientes a abandonar el local en vez de atraerlos.

Para intentar calificar el confort o la calidad acústica global, es imprescindible considerar, paralelamente a la valoración de los aspectos objetivos asociados al confort, también los aspectos subjetivos asociados a la calidad de la percepción acústica de los usuarios. Por ejemplo existen varias clasificaciones de los mejores restaurantes del mundo, como pueden ser la realizada por la revista “Restaurant” en su “The world’s 50 best restaurants” o la “Guía Michelin”. Ambos pretenderán ser sistemas de clasificación objetivos, pero al tratarse de percepciones humanas es muy difícil, con lo que se convierten simplemente en referencias, unas con más repercusión que otras, pero que al final a la hora de elegir puedes consultar.

Las clasificaciones sencillas que resuman el nivel de calidad de realidades complejas están muy de moda en la actualidad, para así ayudar a los usuarios en sus elecciones cotidianas.

Está claro que una baja calidad acústica ambiental puede no solo ser una molestia inmediata, sino que pueda convertirse, a largo plazo, también en un motivo de fatiga, de fuente de enfermedades y de menor productividad, especialmente en ambientes educativos o de trabajo. Según la tipología y la función distinta de cada local arquitectónico es necesario ponderar cuales son los aspectos específicos y los factores fundamentales para una adecuada calidad acústica, siempre según las particulares expectativas de cada usuario respectivo.

7.2.1 Métodos de evaluación.

Algunos estudios publicados ya hace tiempo tienen como objetivo proponer unos indicadores que identifiquen la calidad acústica global de los ambientes interiores arquitectónicos:

En Alemania, a principio de los años 80, se aprobó el establecimiento de tres clases o niveles de confort acústico (CAC) para las viviendas (tabla 7.g), iniciativa basada en una propuesta de la Comisión Europea surgida en 1976. El objetivo de esta fue crear una herramienta que, sin sustituir la normativa existente sobre el ruido enfocada principalmente a preservar la salud de los ciudadanos, la complementase introduciendo parámetros adicionales que garantizaran distintos grados de confort acústico. Esto ayudaría a los ciudadanos en el momento de la elección de su vivienda, sin ser necesariamente expertos ni tener conocimientos previos en el campo de la acústica. Para cada una de las tres clases previstas, se aplicaban unos parámetros acústicos numéricos de referencia que se traducían en descripciones acústicas de las diferentes situaciones posibles de ruido en una vivienda.

TABLE 2
Subjective Response to Noise from Neighbours for the Classes of Acoustical Comfort (CAC)
According to Guideline VDI 4100, *Noise Control In Housing*

<i>Neighbour's noise</i>	<i>Subjective response to noise from neighbours^a</i>		
	<i>CAC I</i>	<i>CAC II</i>	<i>CAC III</i>
Shouting voice	Intelligible	Generally intelligible	Generally unintelligible
Raised voice	Generally intelligible	Generally unintelligible	Unintelligible
Normal voice	Generally unintelligible	Unintelligible	Inaudible
Footsteps	Generally annoying	Generally not annoying	Not annoying
Sanitary noise	Unacceptable annoyance, generally avoided	Occasionally annoying	Not or seldom annoying
Home music, loud radio, TV, or parties	Clearly audible	Clearly audible	Generally audible

^aAssuming background level of 20 dB(A) and normal sized rooms.

Tabla 7.g. Respuesta subjetiva al ruido de los vecinos según la Clase de Confort Acústico (CAC) de la vivienda.

De esta manera, un edificio de la clase I (CAC I) garantizaba un aislamiento acústico igual al prescrito por la normativa, mientras que los edificios etiquetados con la clase II (CAC II) y la clase III (CAC III) garantizaban un confort acústico superior.

Ya en España, el **ICAL**, “Índice de Calidad Acústica de la Vivienda y su Entorno” [16], que tiene como referencia de apoyo la norma NBE-CA-88 [N8], es una “herramienta de medición y estimación del nivel de confort acústico, para así poder establecer unos niveles requeridos y deseados, de forma fácilmente cuantificable”. El ICAL se focaliza sobre la calidad acústica de la vivienda pero tiene en cuenta también el entorno urbano donde estas se sitúan.

Para el cálculo del ICAL se ha generado un software específico sobre soporte Microsoft Excel, donde se introducen los datos técnicos previos relativos a la vivienda, sus materiales, su forma constructiva y su entorno. El primer paso se centra en comparar el aislamiento ofrecido por los materiales propios de la vivienda en estudio respecto al valor de aislamiento mínimo establecido por la normativa, para verificar que ésta se cumpla. El segundo paso se centra en el cálculo del ICAL, índice que se obtiene promediando y ponderando cinco parámetros a los que se ha atribuido un peso relativo. Los pesos

atribuidos a los diversos parámetros permiten ser jerarquizados según el orden que se cita a continuación:

- a) Aislamiento entre habitaciones.
- b) Aislamiento respecto al exterior.
- c) Aislamiento entre la vivienda y zona comunes del edificio.
- d) Aislamiento entre viviendas vecinas.
- e) Altura de la vivienda respecto de la calle (piso donde se ubica).

A cada uno de estos parámetros se atribuirá una nota, según cuál sea el valor de su diferencia, en positivo o en negativo, respecto al valor mínimo prescrito por la norma. Sus autores proponen el ICAL como una innovadora manera de tener una información global sobre la calidad acústica de una vivienda, además resaltan que está concebido como un índice potencialmente “vivo”, pues resulta adaptable a diferentes situaciones de entorno y al futuro estándar normativo que actúe como regulador.

Posteriormente se dio a conocer el **SICAE**, “Sistema Integral de Certificación Acústica de Edificios” otro procedimiento también dedicado integralmente a la valoración de la calidad acústica, presentado por AUDIOTEC, Centro tecnológico de Acústica de Boecillo (Valladolid) durante el congreso Tecniacústica 2007 celebrado en Madrid.

SICAE es una metodología basada en la adopción de un conjunto de medidas preventivas para evitar tener que efectuar posteriormente costosas correcciones al no alcanzar las mediciones “in situ” los valores mínimos legales. Se enfoca sobre todas las fases del proceso constructivo, que va desde el estudio previo de impacto ambiental (con mapas de ruido como los de la figura 7.c) al análisis del proyecto de ejecución con todos sus sistemas constructivos, los materiales utilizados, los sistemas de aislamiento acústico previstos, al control de la correcta ejecución de la obra y de los materiales realmente empleados, y finalmente la realización de los ensayos “in situ” por una entidad acreditada por la ENAC, una vez ya terminada la obra.

Al final de este proceso integral se genera una certificación acústica completa del edificio, que será la garantía de calidad acústica para sus compradores futuros, dando así un considerable valor añadido a la vivienda en una época en la que una mayor calidad acústica de una vivienda es sinónimo de mayor calidad de vida para sus inquilinos.

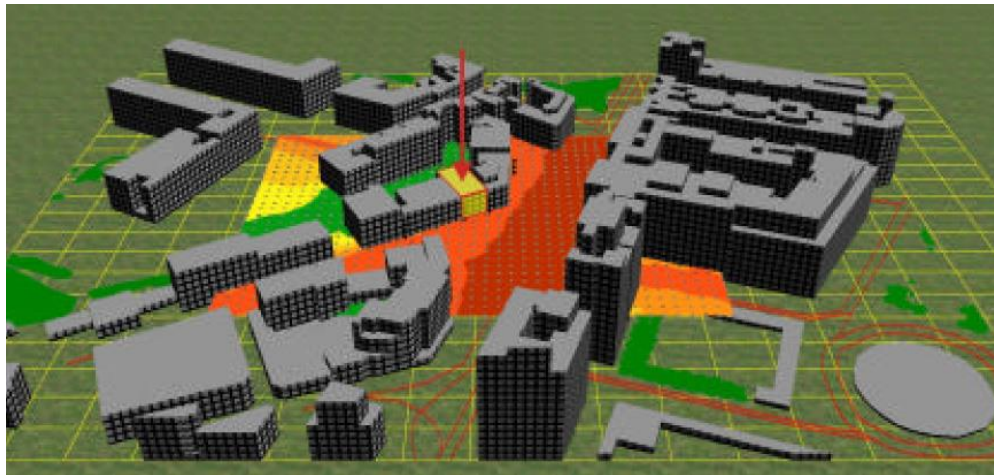


Figura 7.c. Modelización para la simulación acústica urbana utilizado en el ámbito del método SICA.E. [16].

También hay otras propuestas para la evaluación del confort acústico global de un interior arquitectónico menos científicas pero más cercanas a los usuarios. Uno de estos sistemas de evaluación del 2008 es el **C.R.A.I.**, Café & Restaurant Acoustical Index, un índice para la evaluación del confort acústico de bares y restaurantes, propuesto y generado por un grupo de investigadores de la Australian Acoustical Society.

Dicho índice se obtiene a través de un cuestionario (tabla 7.h) de tan solo seis preguntas, tales como si te gusta que haya ruido, como te afecta este, etc., que deben contestar los usuarios en el momento de su visita y siempre según su propia percepción. Las preguntas están claramente enfocadas a valorar el nivel de confort acústico experimentado en relación con las expectativas acústicas del local evaluado. La nota final obtenida, utilizada para crear el ranking acústico de los locales analizados, se basa primordialmente en las percepciones subjetivas de los usuarios.

CAFÉ & RESTAURANT ACOUSTIC INDEX RATING SHEET						
Name of Café/Restaurant, including City:					
Date of Visit:					
Your name, or name of function (Optional):					
Your Age (compulsory!)		<25	25-34	35-44	45-60	>60
How many people at your table?:					
		<u>A lot</u>		<u>Not at all</u>		
1.	How much noise do you like in cafes/restaurants?	1	2	3	4	5
2.	How much did the level of noise adversely affect your enjoyment of the dining experience?	1	2	3	4	5
3.	Did you experience any difficulties conversing with other people as a result of the noise?	1	2	3	4	5
4.	How much would your experience of noise in this venue adversely affect your decision to return?	1	2	3	4	5
		<u>Almost empty</u>		<u>Full</u>		
5.	How busy was the café at the time of your visit?	1	2	3	4	5
		<u>Too loud</u>		<u>None</u>		
6.	At what level was music playing while you were eating?	1	2	3	4	5
Everyone at your table is welcome to complete a rating sheet. Please Send completed form to: Australian Acoustical Society, PO Box 1843, Toowong DC QLD 4066 AUSTRALIA or Email: GeneralSecretary@acoustics.asn.au						

Tabla 7.h . Cuestionario de “Café&restaurant acoustic. Fuente: www.acoustics.asn.au/

De todos los anteriores es de destacar: **SICAE** plantea un método muy completo y profundo de evaluar el confort acústico, aunque en contrapartida se muestra como una metodología manejable solo por expertos y en edificios de obra nueva. Muy apreciable es también su aportación a la comprobación “in situ” de dicho confort y la generación de un sello acreditativo de la calidad para los usuarios futuros compradores; **C.R.A.I.**, se distancia notablemente del resto de metodologías anteriormente presentadas, ya que mientras éstas se basaban únicamente sobre el análisis objetivo del confort acústico, el C.R.A.I. se enfoca exclusivamente a la valoración de la percepción acústica subjetiva de los usuarios realizada en contraste con sus expectativas.

En busca de una sencilla, accesible y específica herramienta que valore el confort de bares y restaurantes, llegamos a tener conocimiento del índice **ICADA**. Este es, de momento, tan solo el objeto de estudio de la tesis doctoral de la Dra. Enrica D’aula [17], pero parece muy interesante, además, se centra exactamente en el objetivo de este trabajo.

7.2.2 ICADA, “Índice de calidad acústica global de la arquitectura interior”.

La propia autora define ICADA como una herramienta procedimental básica que, sin el soporte de complejos software y de herramientas al alcance solo de expertos, permita tener una primera evaluación global de la calidad acústica ambiental de un local interior. Esta misma metodología podría

presentarse como base técnica para la futura creación de un “sello” que evalúe el confort acústico global de un ambiente, y que pudiera ser exhibido en la entrada del local, análogamente al que existe en hostelería en forma de estrellas o tenedores para exhibir la calidad gastronómica de cada establecimiento.

Para la obtención de este indicador no hace falta un programa específico, sino tan solo un programa que recoja todas las condiciones del local y según la importancia de cada una de ellas afecte a un valor final. La metodología MIVES –Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles– desarrollada por la Universidad Politécnica de Cataluña va asociada a un programa informático con este mismo nombre que es genérico y se puede aplicar a distintos campos: fue utilizado, por ejemplo, para el cálculo del Índice de Contribución a la Sostenibilidad (ICES) según el Anejo 13 de la Instrucción Española EHE-08 de hormigón estructural.

MIVES es una metodología de toma de decisión multicriterio que evalúa cada una de las alternativas que pueden resolver un problema genérico definido, a través de un índice de valor. Para obtener el índice de valor de cada alternativa se realiza una suma ponderada de las valoraciones de los diferentes criterios considerados, admitiendo que existe certidumbre. Es decir, las preferencias del decisor respecto a los indicadores planteados son conocidas.

En primer lugar se determina el árbol de toma de decisión, que es la ordenación en forma ramificada de todos aquellos aspectos que serán estudiados y que se han estructurado en la primera fase. En el siguiente esquema (figura 7.d) se muestra de forma genérica un árbol de toma de decisión. Existen varios niveles en la ramificación, a la vez que cada ramificación puede subdividirse en muchos o pocos subniveles.

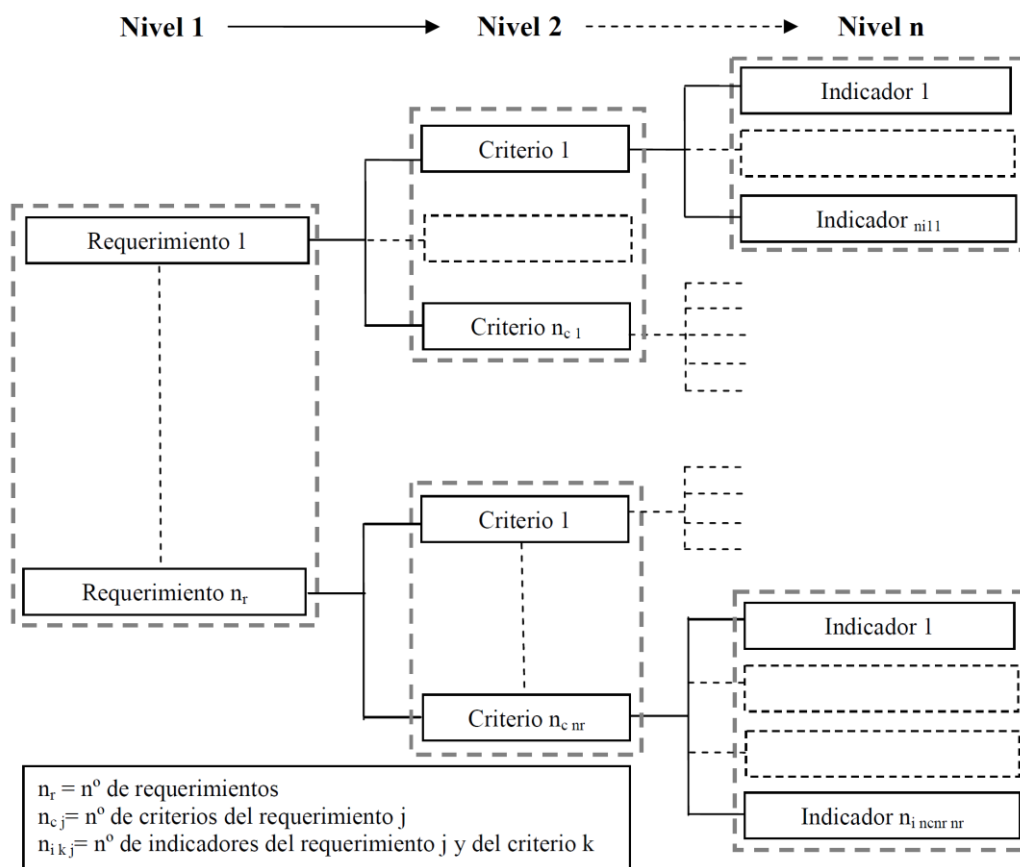


Figura 7.d. Árbol de toma de decisión genérico. Fuente: Folleto de información del MIVES para el II Congrés Internacional de Mesura i Modelització de la Sostenibilitat.

En los primeros niveles, se encuentran los aspectos más cualitativos y generales denominados requerimientos. En los niveles intermedios de la ramificación se encuentran los criterios, y en los últimos niveles de la ramificación se encuentran los aspectos más concretos y que van a ser evaluados directamente: los indicadores.

Estos indicadores se agrupan en una tabla, que es la ficha ICADA (tabla 7.i) guía utilizada para el análisis de campo por parte de los usuarios, sean estos arquitectos expertos en acústica o no.

1. ENTORNO SONORO	30%	1.1 Fuentes sonoras interiores	60%	1.1.1. Cantidad de camareros trabajando en el local	20%
				1.1.2. Fuentes sonoras informativas	30%
				1.1.3. Máquinas eléctricas en régimen de funcionamiento continuo presentes en la sala de estar	30%
				1.1.4. Intensidad de los ruidos de impacto	20%
		1.2 Fuentes sonoras exteriores	40%	1.2.1 Ancho de la calle (número de carriles)	35%
				1.2.2 Velocidad media del tráfico de la calle	40%
				1.2.3 Morfología de la calle	25%
2. ARQUITECTURA: DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	35%	2.1 Volumen	50%	2.1.1. Volumen de aire por persona: efecto de las personas respecto al tiempo de reverberación	50%
				2.1.2. Porcentaje de paredes acristaladas respecto a la superficie envolvente	50%
		2.2 Superficie	50%	2.2.1. Densidad de sillas respecto a la superficie del local	35%
				2.2.2 Grado de compacidad del local	30%
				2.2.3. Layout distributivo	35%
3. ARQUITECTURA: MATERIALES	35%	3.1 Materiales constructivos	60%	3.1.1 Porcentaje de material absorbente en el techo	60%
				3.1.2 Porcentaje de superficies reflectantes	40%
		3.2 Mobiliario	40%	3.2.1 Porcentaje de mobiliario con capacidad absorbente	100%

Tabla 7.i.Pesos de la familia de indicadores. Fuente [17] Tesis doctoral de Enrica D'aula.

La primera familia de requerimientos comprende el **Entorno sonoro** que afecta directamente o indirectamente el confort acústico interior de los bares. Estas se dividen en los criterios: “Fuentes sonoras interiores”, relacionadas con la normal actividad del local, y “Fuentes sonoras exteriores”, es decir las fuentes procedentes de la calle.

En la segunda familia de requerimientos se han considerado los aspectos de la **Arquitectura: diseño y distribución espacial** que se subdividen en los siguientes criterios: “Volumen” y “Superficie”, pues el diseño de un local, tanto en relación a su aspecto volumétrico, como en relación a la distribución del layout funcional es determinante a la hora de generar un ambiente sonoro de calidad.

La tercera familia considera el requerimiento **Materiales**, que se ramifica en los criterios: “Materiales constitutivos” y “Mobiliario”, puesto que las ondas sonoras son reflejadas o absorbidas por las superficies de un local, con consecuencias importantes en la percepción acústica en su interior.

Destaca la autora que puede que se eche en falta un requerimiento en cuanto a la **Inteligibilidad**, pero esta, a diferencia de los otros tres, no es un indicador de la situación real y objetiva, sino que presenta un carácter de subjetividad que no lo hace idóneo para la evaluación analítica.

Tal y como vemos en la tabla 7.i, cada uno de los criterios se subdividen en los indicadores que son los elementos que realmente al final se evalúan, tal como cantidad de camareros, fuentes sonaras informativas, máquinas en funcionamiento, características de la calle, volumen por persona, diseño del local, material absorbente y reflectante influyente, etc.

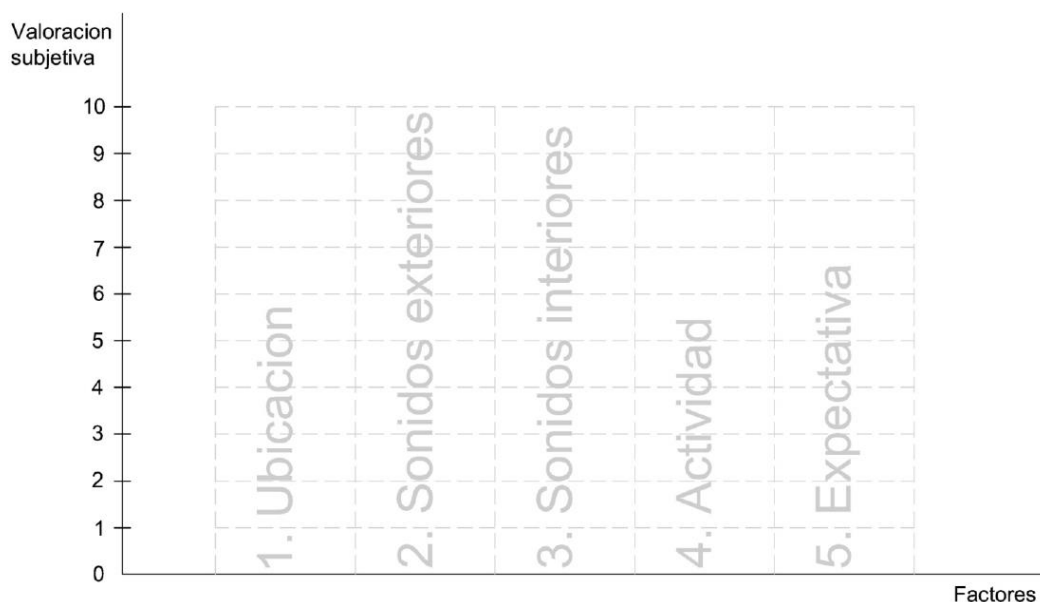
Cada elemento del árbol, es decir cada requerimiento, criterio e indicador, tiene asociado un peso relativo, expresado en porcentaje, tal y como se puede ver en la tabla 7.i, que permite poner en relación y ponderar los elementos del árbol con cada uno perteneciente a la misma familia o subfamilia, para al final obtener el índice, que será **un valor entre el 0 (nada confortable acústicamente) y el 1 (máximo confort acústico)**, lo que catalogará a un determinado local como más o menos confortable acústicamente, sin que en la tesis se haga alguna clasificación más profunda al respecto.

Además la Dra. Enrica D'aula contrastó los resultados de la valoración de ICADA de distintos locales con una encuesta de carácter subjetivo (figura 7.e), como herramienta paralela, dada la elevada importancia de la subjetividad para el confort acústico, donde se tienen en cuenta factores más estrictamente relacionados con la percepción personal, ajustando los parámetros del índice ICADA para que la dispersión entre ambas valoraciones fuese insignificante.

Nombre y Apellido:

Nombre tienda:

Fecha y hora:



1. Ubicación

Consideras que la ubicación urbana del local te satisface acústicamente?

[0 = NO en absoluto, 10 = SI, mucho]

2. Sonidos exteriores

Consideras adecuada la envolvente de este local para protegerlo contra el sonido procedente de la calle? [0 = NO en absoluto, 10 = SI, mucho]

3. Sonidos interiores

Te satisface acústicamente el conjunto de sonidos que escuchas? [0 = NO en absoluto, 10 = SI, mucho]

4. Actividad

Te satisface acústicamente el grado de actividad de este local? [0 = NO en absoluto, 10 = SI, mucho]

5. Expectativa

La satisfacción acústica de conjunto en este caso se ajusta a lo que esperabas?

[0 = NO en absoluto, 10 = SI, mucho]

1. Qué harías para mejorar la protección del local contra el ruido de la calle?
2. Cuales sonidos en el interior del local te molestan más? Que cambiarías? Añadirías o quitarías algo?
3. Qué harías para ajustar más a tus expectativas el grado de actividad del local?
4. Volverías en el local con respecto al confort acústico? Justifica tu respuesta.

Figura 7.e. Cuestionario subjetivo. Fuente [17] Tesis doctoral de Enrica D'aula.

Este índice podría aplicarse a todos los locales existentes para crear una “clasificación” tal como hemos visto que existen, por ejemplo, la de los mejores restaurantes del mundo, lo que sin duda crearía una competencia entre ellos para obtener un buen índice.

De todo esto se puede deducir que los indicadores que se tienen en cuenta a la hora de la valoración son realmente los que van a determinar el ambiente acústico, por lo tanto en la fase de diseño y ejecución deben de tenerse en cuenta para alcanzar el nivel de confort acústico deseado, evitando reformas o niveles bajos. En este sentido podemos apreciar que estos indicadores, en lo que a ejecución se refiere, coinciden con lo que hemos estado puntualizando hasta ahora: tamaño del local (volumen) y superficies reflectantes y absorbentes (paredes, pavimentos y techo, elementos de la decoración como mobiliario, mamparas, etc.).

8. CASOS PRÁCTICOS.

Lo que vamos a realizar a continuación es un análisis de dos locales situados en la ciudad de A Coruña. La Dra. Enrica D'Aula [17] ha cedido el formulario a aplicar para establecer qué índice ICADA pueden tener estos locales. La tabla 8a muestra los indicadores que finalmente se van a evaluar con un valor del 0 al 1. Esta operación, que es la que a posteriori nos llevará al Índice ICADA, se realiza partiendo de unas gráficas que en función de las características del indicador determinan un valor.

Sin embargo, por motivos de confidencialidad (petición expresa de la autora) no podemos revelar las gráficas, pues ni ella misma las expuso en su tesis, con lo que respetaremos su petición explicando el proceso a partir de la valoración de los indicadores ya realizada.

La toma de algunos de los datos, como por ejemplo, la cantidad de camareros trabajando en el local, hay que realizarla un día que los clientes sobrepasen el 50 % del aforo completo.

En la tabla 8.a se presenta el esquema de los requerimientos, criterios e indicadores, todos ellos coloreados para luego poder identificar los datos en las tablas posteriores.

REQUERIMIENTOS	CRITERIOS	INDICADORES
1. FUENTES SONORAS	1.1. FUENTES SONORAS INTERIORES	1.1.1. CANTIDAD DE CAMAREROS TRABAJANDO EN EL LOCAL
		1.1.2. FUENTES SONORAS INFORMATIVAS
		1.1.3. MAQUINAS ELECTRICAS CON FUNCIONAMIENTO CONTINUO QUE INVADEN LA SALA DE ESTAR
		1.1.4. INTENSIDAD DE LOS RUIDOS DE IMPACTO
	1.2 FUENTES SONORAS EXTERIORES	1.2.1. ANCHO DE LA CALLE (en calles peatonales consideramos 3 metros = 1 carril)
		1.2.2. VELOCIDAD MEDIA DEL TRAFICO DE LA CALLE
		1.2.3. MORFOLOGIA CALLE
2.ARQUITECTURA: DISEÑO Y DISTRIBUCION ESPACIAL	2.1. VOLUMEN	2.1.1. VOLUMEN POR PERSONA: EFECTO DE LAS PERSONAS RESPECTO AL TIEMPO DE REVERBERACION
		2.1.2. PORCENTAJE DE PAREDES ACRISTALADAS RESPECTO A LA ENVOLVENTE
	2.2. SUPERFICIE	2.2.1. DENSIDAD DE SILLAS EN LA SUPERFICIE DEL LOCAL
		2.2.2. GRADO DE COMPACIDAD DEL LOCAL
		2.2.3. LAYOUT DISTRIBUTIVO
3.ARQUITECTURA: MATERIALES	3.1. CONSTRUCTIVOS	3.1.1. PORCENTAJE DE MATERIAL ABSORBENTE EN EL TECHO
		3.1.2. PORCENTAJE DE SUPERFICIES REFLEJANTES
	3.2. MOBILIARIO	3.2.1. PORCENTAJE DE MOBILIARIO ABSORBENTE (CORTINAS, SILLONES...)

Tabla 8.a. Requerimientos, criterios e indicadores del Índice ICADA. Fuente [17] Dra. Enrica D'Aula.

Los locales que se van a analizar son dos conocidos restaurantes con zona de barra que pertenecen al mismo dueño. Su nombre es “O Lagar de José” (www.olagardejose.com), y están situados uno en la calle Posse (que para abreviar le llamaremos Lagar1) y otro en la calle Copérnico (Lagar2). El primero lleva ya años abierto, pero el segundo apenas lleva unos años en funcionamiento, con lo que cuando se realizó el acondicionamiento del local ya estaba en vigor el CTE. Es por esto que tiene parte de la superficie del techo con un sistema absorbente. La comparativa se prestará a saber si existe alguna diferencia entre los dos, y también, de existir, si la exigencia del CTE es suficiente para proporcionar un buen ambiente acústico.

8.1 “O Lagar de José” de la calle Posse.

8.1.1 Descripción del local.

La situación de Lagar1 es en la C/ Posse nº25, muy cerca del puente que permite que pase la Av. General Sanjurjo por encima de la C/ Posse (figura 8.a).

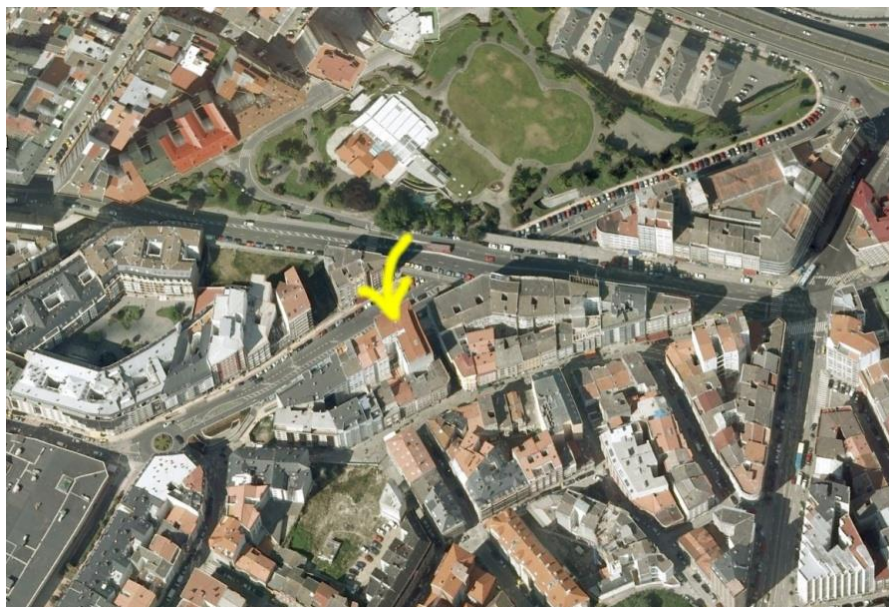


Figura 8.a. Situación de Lagar1. Fuente: Google Earth.

Podríamos decir que el local se divide en dos zonas claramente diferenciadas (figura 8.b): una en la entrada principal (a la izquierda), que es donde está la barra y que a su vez tiene una gran mampara dividiéndola en dos ambientes, con una parte (la más próxima a la barra) con mesas altas, y otra parte con mesas de altura normal, a modo de comedor; y otra donde hay un gran comedor (derecha), con un reservado al fondo que no incluimos en los cálculos por ser un local totalmente independiente (incluso con puerta). Este comedor tiene también acceso al exterior.

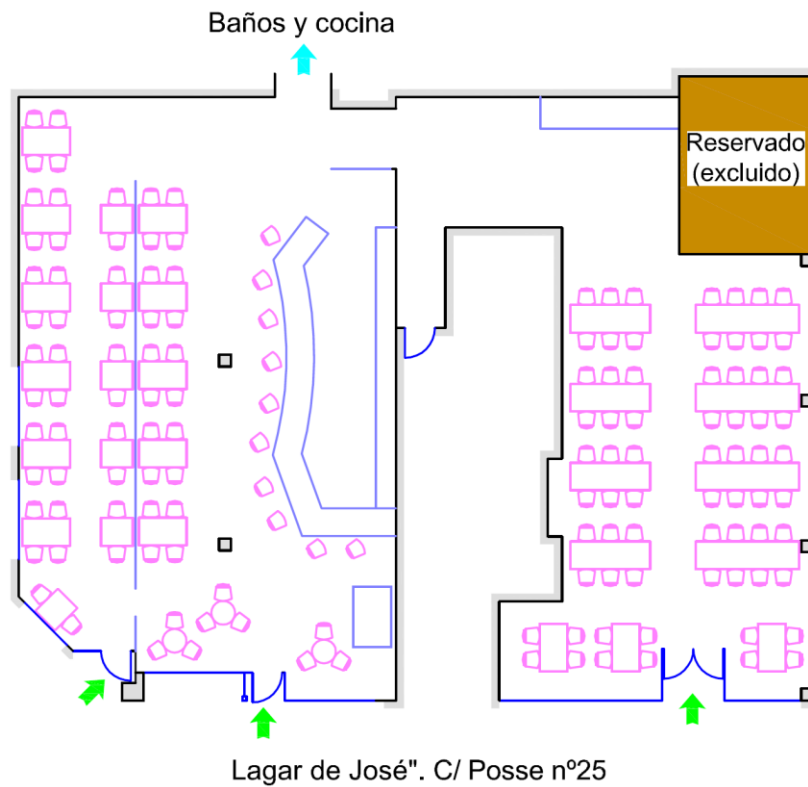


Figura 8.b. Croquis de Lagar1. Fuente: propia.

En el interior del local (figura 8.c), el solado es de baldosa aparentemente con un acabado resistente, lo que hace pensar que es muy reflectante.

Los paramentos verticales que lo delimitan tienen tres tratamientos distintos:

- a) Madera lacada que, aunque el acabado es con poro abierto, dicho poro no forma una estructura porosa en continuidad con la madera, con lo que acústicamente la influencia es nula.
- b) Empapelado con distintos motivos, pero es un papel fino, no parece que pueda aportar ningún acondicionamiento acústico.
- c) Pintado.

Ninguno de estos acabados es relevante en cuanto a absorción acústica.



Figura 8.c. Breve reportaje fotográfico de Lagar1. Fuente: propia.

El techo va pintado y tampoco se advierten materiales absorbentes. Incluso existe un lucernario, que conecta con el patio de luces, lo que crea una superficie altamente reflectante al sonido.

Todas las mesas y sillas son de madera, con lo que el aporte en cuanto a absorción es casi nulo.

Otros materiales, como la encimera de la barra, los depósitos de la cerveza, pizarras para anotaciones, etc., son reflectantes al sonido, así como la gran mampara instalada para dividir ambientes.

8.1.2 Cálculo del índice.

El procedimiento es medir todo el local: la superficie, el volumen, los paramentos reflectantes (diferenciando los que pertenecen a la envolvente exterior, de los que no) así como contabilizar el número de asientos, de fuentes sonoras, de camareros activos en ese momento, etc.; para ir completando los datos del formulario en cuanto a porcentajes de superficies, volumen por persona, superficie por silla, etc.

Una vez determinado el nivel de cada indicador (proceso que no desvelamos por confidencialidad), hay que aplicarle los porcentajes según su “peso” para la obtención del Índice ICADA (tabla 8.b).

ICADA	% requerimientos		%	criterios	%	indicadores
0,344	30	0,241	60	0,230	20	0,050
					30	0,400
					30	0,200
					20	0,200
			40	0,258	35	0,400
					40	0,200
					25	0,150
	35	0,585	50	0,900	50	1,000
					50	0,800
			50	0,270	35	0,400
					30	0,200
					35	0,200
					35	0,200
	35	0,192	60	0,320	60	0,000
					40	0,800
			40	0,000	100	0,000

Tabla 8.b. Cálculo de Índice ICADA de Lagar1. Fuente: propia a partir de indicaciones de la Dra. Enrica D'Aula [17].

El indicador de la primera fila (cantidad de camareros trabajando en el local) repercute un 20% en el criterio al que corresponde (véase que la suma de todos los porcentajes de los indicadores da el 100%). Este criterio (fuentes sonoras interiores), influye en un 60% al requerimiento del que forma parte (fuentes sonoras) y este a su vez en un 30% al Índice ICADA.

8.1.3 Análisis de resultados.

Con los cálculos anteriores llegamos al valor final del Índice que, en el caso que nos ocupa, es 0.344, es decir, en cuanto a ambiente acústico este local no llega ni a un nivel medio (recordemos que 0 es nada confortable y 1 el más confortable). Esto no significa que el local sea desagradable, pues visitándolo con distintas cantidades de gente, se puede comprobar que en caso de haber poca gente el ruido de fondo es bajo, aunque se oyen constantemente los sonidos del choque de objetos por parte de los/as camareros/as, pero en cuanto crece el número de clientes el ambiente se carga de ruido, y ya, al estar el bar repleto, para mantener una conversación hay que elevar el tono de la voz.

Esto es, en definitiva, lo que se esperaba al no existir materiales absorbentes. Fíjense que, en la tabla 8.b, en el último requerimiento, que es el de materiales (la última y la antepenúltima fila hacen referencia a los materiales absorbentes y van a cero), el aporte es de 0.192 sobre 1.

Tampoco el primer requerimiento hace gran aporte, porque es un local que trabaja muy bien, con muchos/as camareros/as, y la calle en la que está es ancha y con tráfico de coches.

El requerimiento más a favor es el que se refiere al espacio, pues es un local amplio y además dispone de ambientes separados.

8.2 “O Lagar de José” de la calle Copérnico.

8.2.1 Descripción del local.

La situación de Lagar2 es en la C/ Copérnico nº5, casi enfrente de un edificio con acristalamiento oscurecido destinado a centro de negocios (figura 8.d).

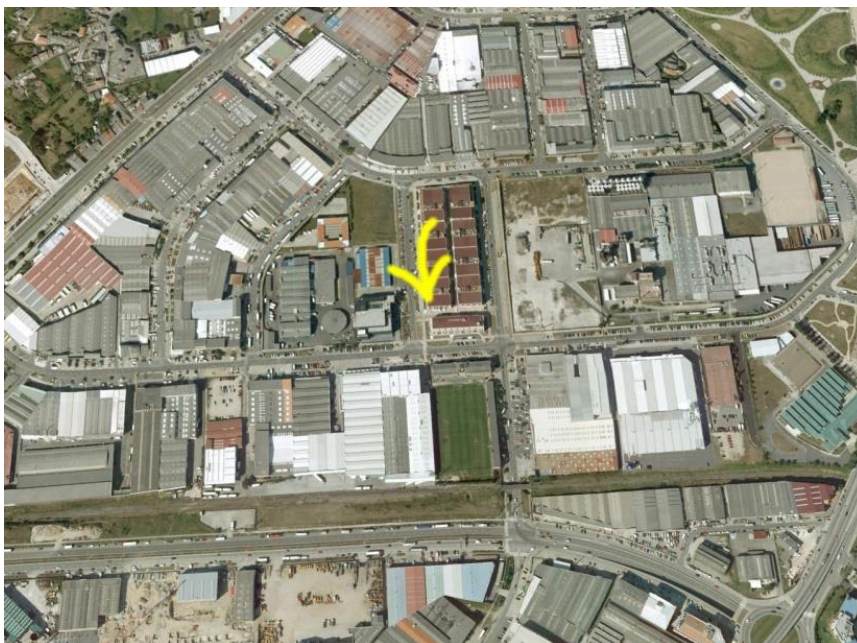
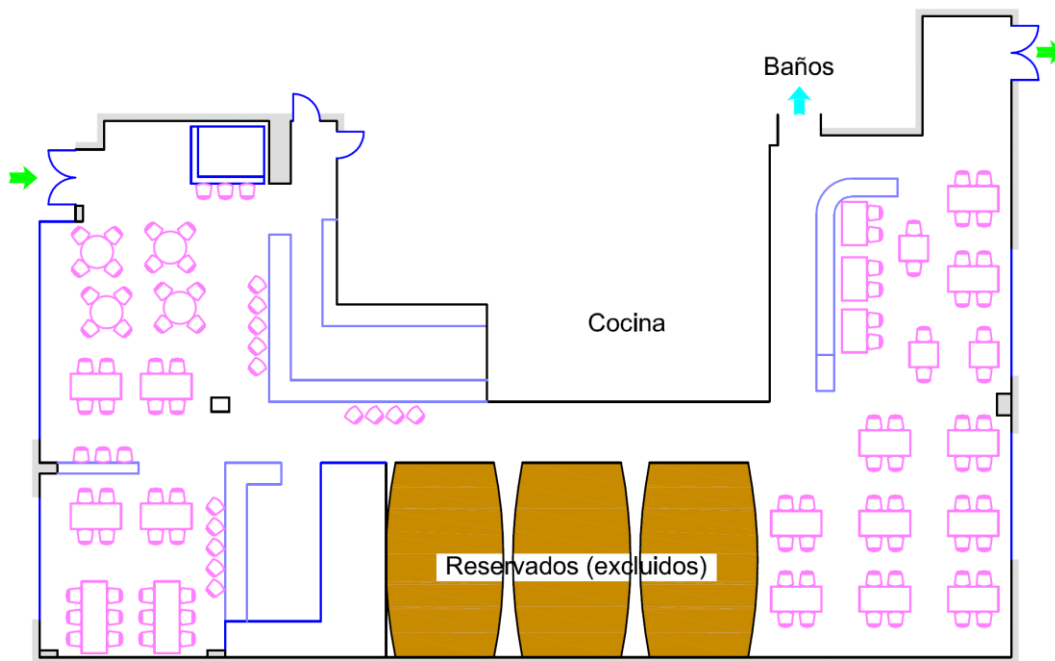


Figura 8.d. Situación de Lagar1. Fuente: Google Earth.

En este caso también existen dos zonas claramente diferenciadas: una en la entrada principal (a la izquierda de la figura 8.e), que es donde está la barra y que a su vez está dividido en dos ambientes, pero sin una división física, dejando lo que corresponde al espacio de la esquina inferior izquierda de la figura para vinoteca, pues detrás de esa barra tiene una cámara de frío para vinos. Desde esta parte un pasillo nos lleva al gran comedor (derecha), con tres locales para reservado que no incluimos en los cálculos por ser totalmente independientes (incluso con puerta). Este comedor tiene también acceso a una terraza exterior.



Lagar de José". C/ Copénico nº5

Figura 8.e. Croquis de Lagar2. Fuente: propia.

En el interior del local (figura 8.f), el solado es de baldosa similar a la de Lagar1, aunque tiene zonas en el gran comedor posterior con solado de madera, aparentemente tarima flotante, que prácticamente no contribuye nada en la absorción del sonido, pero sí más que la baldosa.

Los paramentos verticales que lo delimitan tienen cuatro tratamientos distintos:

- a) Madera lacada que, aunque el acabado es con poro abierto, dicho poro no forma una estructura porosa en continuidad con la madera, con lo que acústicamente la influencia es nula.
- b) Empapelados murales con imágenes, pero es un papel fino, no parece que pueda aportar ningún acondicionamiento acústico.
- c) Pintado (tan solo unas pequeñas zonas).
- d) Existe una pequeña parte con cadenillas colgando del techo para separar el comedor del pasillo que va a los baños. Esto no tiene ninguna absorción acústica, si acaso difusión sonora.

Ninguno de estos acabados es relevante en cuanto a absorción acústica.



Figura 8.f. Breve reportaje fotográfico de Lagar2. Fuente: propia.

El techo va pintado en casi toda su superficie, excepto en un foso en el comedor trasero en el que tiene un empapelado mural similar al de las paredes, sin aportación absorbente relevante. Este techo aparenta ser de escayola o, probablemente, de yeso laminado, pero a diferencia del local anterior, posee unas porciones de techo con perforaciones (figura 8.g), lo que claramente sería un sistema de resonadores de cavidad múltiple con buen comportamiento a frecuencias medias, ampliando el rango hacia las altas en el caso de que fuese acompañado de un material poroso en la cámara.

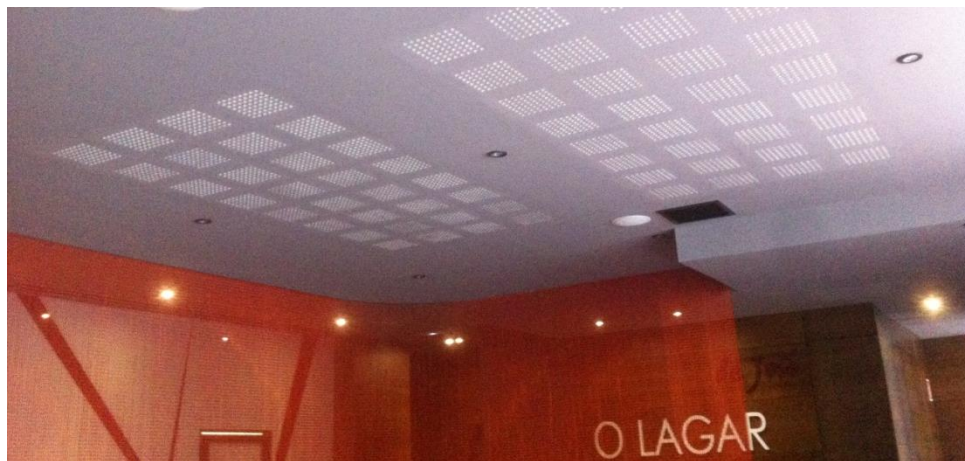


Figura 8.g. Detalle de las perforaciones en el techo. Fuente: propia.

Todas las mesas son de madera, con lo que el aporte en cuanto a absorción es casi nulo. Sin embargo las sillas y sillones van tapizados en polipiel (material de imitación a cuero). Hemos visto que el cuero en tensión y con cámara de aire por detrás funciona como un resonador de membrana. En

este caso al ir relleno poco puede vibrar, sin embargo su aportación a la absorción acústica siempre será mayor que el de las sillas de madera.

Otros materiales, como la encimera de la barra, estanterías de vidrio, los depósitos de la cerveza, pizarras para anotaciones, etc., son reflectantes al sonido, así como el acristalamiento que posee en la compartimentación de los reservados y la cocina.

8.2.2 Cálculo del índice.

El procedimiento a seguir es el mismo que en el caso anterior (tabla 8.c).

ICADA	% requerimiento		% criterio		% indicador	
0,430	30	0,287	60	0,290	20	0,050
					30	0,600
					30	0,200
					20	0,200
			40	0,283	35	0,400
					40	0,200
					25	0,250
	35	0,603	50	0,900	50	1,000
					50	0,800
			50	0,305	35	0,500
					30	0,200
					35	0,200
	35	0,380	60	0,500	60	0,300
40					0,800	
40			0,200	100	0,200	

Tabla 8.c. Cálculo de Índice ICADA de Lagar2. Fuente: propia a partir de indicaciones de la Dra. Enrica D'Aula [17].

8.2.3 Análisis de resultados.

En este caso el Índice obtenido es 0.430, lo que supone un mayor nivel que el anterior, tal y como podríamos esperar. Aun así no llega ni a un nivel medio. La calle ancha y concurrida a la que da, así como la presencia de muchos/as camareros/as (también es un local que trabaja mucho) vuelve a proporcionar un valor bajo en el apartado de fuentes sonoras.

En cuanto a la arquitectura, este es un local de características similares al anterior, lo que proporciona valores similares, quizás con un poco menos de densidad de sillas, de ahí el ligero repunte.

Por último, vemos reflejados los valores del porcentaje de material absorbente en el techo (antepenúltima fila) y del mobiliario (última), que hacen que el valor del requerimiento “materiales” suba, y que es en realidad donde está la mayor diferencia con el anterior.

En este restaurante suele haber muchos clientes. Para estar en él casi vacío, hay que ir a unas horas determinadas. Todos los mediodías dan comidas, y al encontrarse en un polígono industrial, tiene muchos clientes, por lo que en estos momentos el ruido es enorme. Sin embargo, en los momentos en los que no está tan concurrido, por ejemplo a media tarde, el ambiente es realmente agradable, aunque esto tan solo es una percepción subjetiva.

8.3 Comparativa y conclusión.

Lagar2 tiene instalado en el techo el acondicionamiento acústico que exige el CTE para reducción del tiempo de reverberación. Además tiene otras pequeñas mejoras. Si comparamos cada resultado de los requerimientos (tabla 8.d), todos los valores son mayores en Lagar2, veamos por qué:

- a) En cuanto a las fuentes sonoras hay un ligero repunte en las fuentes sonoras informativas, debido probablemente a que el volumen del local es ligeramente mayor (aunque no se ve en el indicador del volumen por llegar ambos al tope máximo de valoración), y su distribución y la de las fuentes está mejorada.

También el indicador de la morfología de la calle es favorable por ser la situación de Lagar2 de mejores características (no tiene un edificio enfrente).

- b) En cuanto a la arquitectura el repunte es debido a la densidad de sillas, por ser Lagar2 más espacioso.

ICADA	% requerimientos		% criterios		% indicadores		ICADA	% requerimiento		% criterio		% indicador																																																																																								
0,344	30	0,241	60	0,230	20	0,050	30	0,287	60	0,290	20	0,050																																																																																								
					30	0,400					30	0,200	20	0,200	40	0,258	35	0,400	40	0,283	35	0,400	40	0,200	25	0,150	40	0,200	35	0,585	50	0,900	50	1,000	35	0,603	50	0,900	50	1,000	50	0,800	35	0,400	50	0,800	50	0,270	30	0,200	50	0,305	35	0,500	30	0,200	35	0,200	30	0,200	35	0,192	60	0,320	60	0,000	35	0,380	60	0,500	60	0,300	40	0,800	40	0,000	100	0,000	40	0,200	100	0,200																		
					30	0,200					20	0,200	40	0,258			35	0,400			40	0,283	35	0,400	40	0,200	25	0,150					40	0,200					35	0,585	50	0,900	50	1,000	35	0,603			50	0,900			50	1,000	50	0,800	35	0,400	50	0,800					50	0,270					30	0,200	50	0,305			35	0,500			30	0,200	35	0,200	30	0,200	35	0,192	60	0,320	60	0,000	35	0,380	60	0,500	60	0,300	40	0,800
					20	0,200																																																																																														
			40	0,258	35	0,400			40	0,283	35	0,400																																																																																								
					40	0,200					25	0,150			40	0,200	35	0,585	50	0,900			50	1,000	35	0,603	50	0,900			50	1,000	50	0,800			35	0,400			50	0,800	50	0,270			30	0,200	50	0,305	35	0,500	30	0,200	35	0,200	30	0,200	35	0,192	60	0,320	60	0,000	35	0,380	60	0,500	60	0,300	40	0,800	40	0,000	100	0,000	40	0,200	100	0,200																				
					25	0,150					40	0,200	35	0,585	50	0,900					50	1,000	35	0,603							50	0,900	50	1,000			50	0,800			35	0,400					50	0,800			50	0,270	30	0,200	50	0,305	35	0,500					30	0,200					35	0,200	30	0,200			35	0,192			60	0,320	60	0,000	35	0,380	60	0,500	60	0,300	40	0,800	40	0,000	100	0,000	40	0,200	100	0,200		
					40	0,200																																																																																														
	35	0,585	50	0,900	50	1,000	35	0,603	50	0,900	50	1,000																																																																																								
					50	0,800					35	0,400			50	0,800			50	0,270	30	0,200					50	0,305	35	0,500	30	0,200	35	0,200	30	0,200	35	0,192	60	0,320	60	0,000	35	0,380	60	0,500	60	0,300	40	0,800	40	0,000	100	0,000	40	0,200	100	0,200																																										
					35	0,400					50	0,800																																																																																								
			50	0,270	30	0,200			50	0,305	35	0,500																																																																																								
					30	0,200					35	0,200	30	0,200	35	0,192	60	0,320	60	0,000	35	0,380	60	0,500	60	0,300	40	0,800	40	0,000	100	0,000	40	0,200	100	0,200																																																																
					35	0,200					30	0,200																																																																																								
	35	0,192	60	0,320	60	0,000	35	0,380	60	0,500	60	0,300																																																																																								
					40	0,800					40	0,000	100	0,000			40	0,200	100	0,200																																																																																
			40	0,000	100	0,000			40	0,200			100	0,200																																																																																						

Tabla 8.d. Cálculo de Índice ICADA de Lagar1 (izquierda) y Lagar2 (derecha). Fuente: propia a partir de indicaciones de la Dra. Enrica D'Aula [17].

- c) Finalmente los materiales se ven influidos tanto por el indicador de material absorbente en el techo, como por la pequeña contribución que hacen las sillas y sillones tapizados.

Si comparamos los resultados obtenidos, el acondicionamiento acústico mejoró en un 25%. Esto es un aumento apreciable, aunque puede ser engañoso por el bajo valor de Lagar1. Lo que podría llevarnos a pensar que el Índice ICADA puede ser un valor fiable, pues por un lado determina que la exigencia del CTE se nota en relación con una actuación totalmente nula, y por otro le da un valor

bajo a Lagar2, que realmente es la sensación con la que te quedas cuando lo visitas en horas con una cantidad importante de gente.

Pero ¿no sería de esperar que el ambiente mejorase más cumpliendo los requerimientos del CTE? En mi opinión, por supuesto, y es además donde quiero hacer hincapié: para garantizar un mínimo de “confort” no debemos de quedarnos en los mínimos del CTE.

9. CONCLUSIONES.

Con la realización de este trabajo pretendía que la acústica aplicada a la edificación se acercase a los sectores que tienen que decidir cuales materiales, que diseño, que situación, en donde invierto más, etc. También la pretensión era normalizar el concepto de buen ambiente acústico, es decir, intentar que la preocupación por la acústica, cuando se está estudiando un determinado espacio, adquiriera, en un principio, al menos el mismo nivel de importancia que los otros aspectos, como el acondicionamiento térmico, estético, etc.

Debo decir que, a pesar de haber tenido una preocupación por la acústica desde hace años, la sorpresa que me he llevado al investigar más profundamente sobre este tema fue mayúscula, debido, sobre todo, a la gran cantidad de materiales y soluciones constructivas que existen en el mercado, así como al gran número de empresas, muchas internacionales, que se dedican a la fabricación de estos.

Por esto, el número de soluciones es enorme, incluso para rehabilitaciones. Es muy típico el caso de que, como en cierto local a rehabilitar ya no hay suficiente altura, “ya no es posible acondicionarlo acústicamente”. Hemos visto en el apartado de materiales que hay muchas opciones, incluso que no forman parte de la obra, de manera que ni siquiera hay que tocar lo que está construido.

En este trabajo no se han valorado económicamente las soluciones. Evidentemente, las que se salen del uso cotidiano, tienen un coste mayor. Aun así, el enfoque no era poner importancia a lo económico, pues ¿Acaso se acondiciona un local para destinarlo a un bar o restaurante con el mínimo gasto posible? A menudo se ven decoraciones que, como profesional en la materia, uno no puede dejar de pensar en lo costosas que habrían podido ser. Esto es porque la parte estética ocupa el primer nivel de preocupación.

Y es cierto, lo que primero se percibe de un local es su estética. Pero, ¿Podría desempeñarse la actividad de un local con menor inversión en la decoración? Por supuesto que sí, pero el nivel de preocupación de esta está por encima de todo lo demás, a pesar de no tener ninguna “exigencia”.

Y en contraposición tenemos los requerimientos mínimos que debemos cumplir: aislamiento acústico y térmico, acondicionamiento acústico, suelo antideslizante, dimensiones de pasos, alturas. En este caso no se escatima en gastos, pero... simplemente hasta el mínimo.

A esto se le une que la normativa en cuanto a acondicionamiento acústico es muy joven, lo que se traduce en que las exigencias son, a mi parecer, muy bajas. Esto ha podido verse con los casos prácticos, que pese a mejorar el Índice ICADA el restaurante acondicionado acústicamente, ya entrado en vigor el CTE, no pasa de la nota media, y eso que la mejora con respecto al restaurante sin acondicionar es del 25%, señal de que la preocupación anteriormente era nula, aspecto que nos sigue influyendo hoy en día.

Es por esto que hago hincapié en la importancia del bienestar, incluso del confort del usuario, intentando descalificar la inversión en acondicionamiento acústico de gasto poco importante, y cambiarla por inversión que repercutirá en los ingresos del negocio.

Por último, el hecho de clasificar un local con un índice de nivel de confort acústico, sería algo que contribuiría, sin duda, a la mejora de los locales en este campo.

Cuando hay demanda en un determinado servicio o producto, el número de ventas aumenta, y entonces ya no es necesario hacerle propaganda, incluso salen al mercado otros similares, de menor calidad, que alcanzan gran número de ventas igualmente.

Esto puede pasar con los bares y restaurantes, pues la nuestra es una sociedad muy de frecuentar estos locales, lo que hace que no se tengan que esforzar mucho para atraer cierta clientela.

Sin embargo el hecho de que todos estuviesen catalogados mediante un índice de confort, similar al que este año se ha impuesto para la eficiencia energética de los edificios, provocaría una creciente preocupación en este aspecto.

Todo para que los bares no dejen de ser lugares *“tan gratos para conversar”*.

10. BIBLIOGRAFÍA.

10.1 Bibliografía de autores.

- [1] José Fernando García-Rebull salgado. Notas de acústica aplicada. Universidad de A Coruña.
- [2] Francisco Javier Rodríguez Rodríguez, Javier de la Puente Crespo, César Díaz Sanchidrián. "Guía Acústica de la construcción". Cie Inversiones Editoriales Dossat 2.000, S.L. Septiembre 2008.
- [3] Santiago Valero Granados. "Acústica aplicada al interiorismo" acondicionamiento acústico en locales de uso público. Librosdeacustica.es. 2011.
- [4] Higini Arau. ABC de la acústica arquitectónica. Grupo editorial CEAC S.A., 1999.
- [5] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. IETcc-CSIC. Unidad de calidad en la construcción. "Guía de aplicación del DB HR. Protección acústica frente al ruido". CTE Ministerio de vivienda. Ministerio de Ciencia e Innovación. Agosto 2009.
- [6] Fletcher, H. and Munson, W.A. "Loudness, its definition, measurement and calculation", Journal of the Acoustic Society of America 5, 82-108 (1933).
- [7] Francisco Arrebola Ballesteros. Tesis de master: "Construcción de una cámara reverberante a escala para el estudio de pantallas acústicas". Universidad Politécnica de Valencia. 2011.
- [8] Luis Espada Recarey, Francisco Javier Rodríguez Rodríguez, Víctor Manuel Martínez Cacharrón. Gestión de la contaminación acústica. Análisis de la legislación estatal y propuestas de aplicación para la administración local. Concello de Vigo e Valedor do cidadán de Vigo.
- [9] M. E. Delany, E. N. Bazley. "Acoustical Properties of Fibrous Absorbent Materials". Applied Acoustics 3, 105-116, 1970.
- [10] K. Attenborough. "Acoustical Characteristics of Porous Materials". Physics Reports 82 (3), 179-227, 1982.
- [11] Ernesto Juliá Sanchis. Tesis doctoral: Modelización, simulación y caracterización en acústica de materiales para su uso en acústica arquitectónica. Universidad Politécnica de Valencia. 2008.
- [12] R. A. Scott. "The Absorption of Sound in a Homogeneous Porous Medium". Proceedings of the Physical Society 58, 165-183, 1946.
- [13] M. A. Ferrero, G. G. Sacerdote. "Parameters of Sound Propagation in Granular Absorption Materials". Acustica 1, 135-142, 1951.

- [14] B. H. Song, J. S. Bolton. "A Transfer-matrix Approach for Estimating the Characteristic Impedance and Wave Numbers of Limp and Rigid Porous Materials". J. Acoust. Soc. Am. 107 (3), 1131-1152, 2.000.
- [15] David Utrilla Aznar, Juan Norberto Moríñigo Fletcher. ICAL: índice de calidad acústico de la vivienda y su entorno. Anales de mecánica y electricidad. 2003, 80 (1): 21-24.
- [16] A. A. Gombau; A. E. Espinel Valdivieso; J. Pereira, *S/CAE*: "Sistema Integral de Certificación Acústica de Edificios", Congreso Tecniacústica, Madrid 2007.
- [17] Enrica D'aula. Tesis doctoral: ICADA. Base para un índice de calidad acústica global de la arquitectura interior. Aplicación a los espacios comerciales urbanos. Universidad Politécnica de Catalunya. 2012.
- [18] Kuerer RC. Classes of acoustical comfort in housing: Improved information about noise control in buildings. Appl Acoust 1997 NOV-DEC; 52(3-4):197-210.
- [19] Sociedad Española de Acústica. "Glosario de Términos Acústicos". Edita: Sociedad Española de Acústica. Editora: Ana Delgado Portela. Julio 2012.
- [20] Antoni Carrión Isbert. "Diseño acústico de espacios arquitectónicos". Ediciones UPC 1998.

10.2 Fuentes normativas.

- [N1] Documento Básico HR. Protección frente al ruido. CTE Ministerio de vivienda. Ministerio de Ciencia e Innovación. Septiembre 2009.
- [N2] Ordenanza municipal medio ambiental reguladora de la emisión y recepción de ruidos y vibraciones y del ejercicio de las actividades sometidas a licencia. Aprobada definitivamente por el Excmo. Ayuntamiento en sesión de 9/6/97. Publicada en el BOP número 137 de 17/6/97. Modificados artículos 58, 87, 90, 93, 97 al 99, 102, 104 y 105, en sesión celebrada el 12/6/98. Publicado Texto Refundido de la Ordenanza en el BOP número 162 de 16/7/98. Fe de erratas publicada en el BOP número 243 de 23/10/98.
- [N3] Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- [N4] REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- [N5] REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

[N6] Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

[N7] LOE: Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Objeto básico: regular el proceso de la edificación, estableciendo las obligaciones y responsabilidades de los agentes que intervienen en el mismo, así como las garantías necesarias para su adecuado desarrollo, asegurando la calidad mediante el cumplimiento de los requisitos básicos de los edificios y la adecuada protección de los intereses de los usuarios.

[N8] NBE-CA-81 Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Acústicas en los edificios.

UNE 74-003-92. Curvas normalizadas de igual sonoridad. Octubre 1992.

UNE 92180 IN Características mínimas recomendables para distintas aplicaciones. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral. Julio 2006.

UNE-EN 12354-3. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra ruido del exterior. Enero 2001.

UNE-EN 13162. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación. Septiembre 2009.

UNE-EN 13950. Transformados de placa de yeso laminado con aislamiento térmico acústico. Definiciones, especificación y métodos de ensayo. Octubre 2006.

UNE-EN 14500. Toldos y persianas. Confort térmico y acústico. Métodos de ensayo y de cálculo. Septiembre 2010.

UNE-EN ISO 266. Acústica. Frecuencias preferentes. (ISO 266:1997). Enero 1998.

UNE-EN ISO 354. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354:2003). Febrero 2004.

UNE-EN ISO 3382-1. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: salas de espectáculos. (ISO 3382-1:2009). Febrero 2010.

UNE-EN ISO 3382-2. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. (ISO 3382-2:2008). Diciembre 2008.

UNE-EN ISO 3382-2:2008. Erratum V2. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios (ISO 3382-2 2008/Cor 1:2009). Septiembre 2009.

UNE-EN ISO 3382-3. Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 3: Oficinas diáfanas. (ISO 3382-3:2012). Octubre 2012.

UNE-EN ISO 3740. Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido. Guía para la utilización de las normas básicas. (ISO 3740:2000). Junio 2001.

UNE-EN ISO 10534-1. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 1: Método del rango de onda estacionaria. (ISO 10534-1:1996). Julio 2002.

UNE-EN ISO 10534-2. Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia. (ISO 10534-2:1998). Julio 2002.

UNE-EN ISO 11654. Acústica. Absorbentes acústicos para su utilización en edificios. Evaluación de la absorción acústica. (ISO 11654:1997). Febrero 1998.

UNE-EN ISO 80000-8. Magnitudes y unidades. Parte 8: Acústica. (ISO 80000-8:2007, versión corregida 2007-08-15). Abril 2009.

UNE-ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación. Junio 2005.

10.3 Páginas web.



www.codigotecnico.org/web/



Ministerio de Fomento
Catálogo de Elementos Constructivos del CTE
v2.1 Actualización Octubre 2011

www.elementosconstructivos.codigotecnico.org/Pages/BusquedaSC.aspx



SOCIEDAD ESPAÑOLA
DE ACÚSTICA

www.sea-acustica.es/

afelma
el aislamiento

www.aislar.com/



Australian
Acoustical
Society

www.acoustics.asn.au/



www.derechoinmobiliario.es/legislacion/derechodelaconstruccion/normatecnologicadelaedificacion/regulacion.html



www.books.google.es/books?id=j2EEAAAAMBAJ&printsec=frontcover&dq=arte+y+cemento&hl=es&sa=X&ei=8TSbUdSuDlyO7Qa-_YCoCQ&ved=0CDUQ6AEwAA



<http://www.aip.org/>



<https://www.coatac.org/>



Colegio Oficial de
Arquitectos de Galicia

<http://www.coag.es/profesion/edificacion/noticias.aspx>



PANELES ACÚSTICOS PARA TECHOS
Y REVESTIMIENTOS

www.taor.es

PACO, S.L.
CARPINTERÍA

www.carpinteriapaco.com



www.woodsound.net



www.acusticaintegral.com



uralita

www.pladur.com



SAINT-GOBAIN

www.placo.es



europa

www.yesyforma.es



www.ursa.es



www.drapilux.com



www.telonesmadisson.com



www.factoryofsilence.com



CALVACHE I CASUT, S.L.

www.calica.info



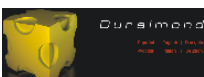
www.metrasoni.es



www.ecophon.com



www.comersan.com



www.duralmond.com



www.decordyn.com



www.morpa.es



MAYDISA www.maydisa.com



www.kvadrat.dk



GLIMAKRA
OF SWEDEN

www.glimakra.com



CLIPPER SYSTEM

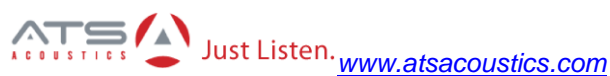
www.clippersystem.it



www.sedus.de



www.knauf.es



 **BASF**
The Chemical Company www.basf.com

 **Heraklith**
www.heraklith.com

 **AMF**
www.amfceilings.co.uk

 **Rockfon**
www.rockfon.com/

 **eurocoustic**
SAINT-GOBAIN www.eurocoustic-tendance.com

 **Jocavi** Acoustic panels
www.grupo.jocavi.net

 **PERLITA**
Y VERMICULITA www.perlitayvermiculita.com

 **Notson**
acústica <http://www.notson-acustica.com>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.a. Magnitudes físicas de un sonido. Fuente [2] Guía acústica.	13
Tabla 2.b. Aspectos a considerar el oído humano. Fuente [2] Guía acústica.	14
Tabla 2.c. Relación de la intensidad y presión sonora y su nivel de decibelios. Fuente [2] Guía acústica.	16
Tabla 2.d. Suma de focos de igual nivel de presión sonora. Fuente [2] Guía acústica.	17
Tabla 2.e. Métodos de suma de decibelios. Fuente [2] Guía acústica.	18
Tabla 2.f. Métodos de sustracción de decibelios. Fuente: elaboración propia a partir de [4] ABC de la acústica.	19
Tabla 2.g. Sensaciones subjetivas de distintos niveles de presión sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	21
Tabla 2.h. Usos de las curvas de ponderación. Elaboración propia.	22
Tabla 2.i. Frecuencias de las bandas 1/3 de octava. Fuente [5] Guía de aplicación de DB HR.	24
Tabla 2.j. Frecuencias y longitudes de onda. Fuente [2] Guía acústica.	25
Tabla 2.k. Decibelios de las curvas NC según la frecuencia. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	26
Tabla 2.l. Aplicaciones de las distintas curvas NC. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	27
Tabla 2.m. Factores de directividad. Fuente [3] Acústica aplicada el interiorismo.	32
Tabla 3.a. Características más relevantes del mensaje oral. Fuente [20] Carrión.	48
Tabla 4.a. Tiempos de reverberación regulados en el CTE. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	54
Tabla 4.b. Cálculo del tiempo de reverberación. Fuente: Hoja de cálculo del CTE.	56
Tabla 5.a. Ramas de la acústica arquitectónica. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	61
Tabla 5.b. Unidades que utiliza el CTE en cuanto al aislamiento acústico. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	63
Tabla 5.c. Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo. Fuente [N1] DB HR.	63
Tabla 5.d. Exigencia de aislamiento por parejas de recintos. Fuente: propia basada en el [N1] DB HR.	64
Tabla 5.e. Exigencia de aislamiento a ruido de impacto. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR. ..	65
Tabla 5.f. Características de los elementos de separación. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	67
Tabla 5.g. Elementos de separación horizontal. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	68
Tabla 5.h. Elementos de separación horizontal. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	68
Tabla 5.i. Clasificación de las actividades por grupos. Fuente [8] Gestión de la contaminación acústica.	70

Tabla 5.j. Nivel de emisión según zonificación. Fuente [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña.....	71
Tabla 5.k. Niveles de emisión según actividad. Fuente [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña.....	72
Tabla 5.l. Comparativa de exigencias para el aislamiento acústico en bares y restaurantes entre la normativa municipal y el CTE. Fuente: elaboración propia basada en [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña. En el caso de ser recinto ruidoso quedaría fuera del ámbito de aplicación del CTE y la exigencia sería de 60 dBA.	73
Tabla 5.m. Requerimientos según tipo de local. Fuente: elaboración propia basada en [N2] Ordenanza municipal medioambiental de A Coruña.	73
Tabla 6.a. Métodos de ensayo. Fuente: Elaboración propia basada en UNE-EN ISO 10534 y 354....	76
Tabla 6.b. Clases de absorción acústica. Fuente: UNE-EN ISO 11654 (1997).	81
Tabla 6.c. Coeficientes de absorción acústica de distintos materiales empleados en la construcción. Fuente Catálogo de elementos constructivos del CTE.	83
Tabla 7.a. Coeficientes de absorción de algunos pavimentos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	166
Tabla 7.b. Coeficientes de absorción de revestimientos continuos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	167
Tabla 7.c. Coeficientes de absorción de aplacados duros. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	167
Tabla 7.d. Coeficientes de absorción de puertas y ventanas. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	169
Tabla 7.e. Coeficientes de absorción de algunos tipos de cortinas de tela. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	170
Tabla 7.f. Absorción de una rejilla normalizada de 1 m ² de superficie con volumen detrás <0.5m ³ . Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	171
Tabla 7.g. Respuesta subjetiva al ruido de los vecinos según la Clase de Confort Acústico (CAC) de la vivienda.....	172
Tabla 7.h . Cuestionario de “Café&restaurant acoustic. Fuente: www.acoustics.asn.au/	175
Tabla 7.i.Pesos de la familia de indicadores. Fuente [17] Tesis doctoral de Enrica D’aula.....	178
Tabla 8.a. Requerimientos, criterios e indicadores del Índice ICADA. Fuente [17] Dra. Enrica D’Aula.	182
Tabla 8.b. Cálculo de Índice ICADA de Lagar1. Fuente: propia a partir de indicaciones de la Dra. Enrica D’Aula [17].	186
Tabla 8.c. Cálculo de Índice ICADA de Lagar2. Fuente: propia a partir de indicaciones de la Dra. Enrica D’Aula [17].	190
Tabla 8.d. Cálculo de Índice ICADA de Lagar1 (izquierda) y Lagar2 (derecha). Fuente: propia a partir de indicaciones de la Dra. Enrica D’Aula [17].	191

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.a. Presión sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	9
Gráfico 2.b- Ciclo y período de una onda. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	11
Gráfico 2.c. Frecuencia y tono de los sonidos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	11
Gráfico 2.d. Frecuencia y longitud de onda. Fuente [2] Guía acústica.	12
Gráfico 2.e. Curvas isofónicas. Fuente [2] Guía acústica.	20
Gráfico 2.f. Curvas de ponderación. Fuente [2] Guía acústica.	22
Gráfico 2.g. Curva de ponderación A para las frecuencias normales de acústica arquitectónica. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	23
Gráfico 2.h. Frecuencias y niveles de los sonidos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	23
Gráfico 2.i. Frecuencias y NPS de las bandas de octava. Fuente [5] Guía de aplicación de DB HR ..	25
Gráfico 2.j. Curvas NC. Fuente [20] Carrión.	26
Gráfico 3.a. NSP de un recinto en el tiempo. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	41
Gráfico 3.b. Zonas acústicas según retardo de la reflexión. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	42
Gráfico 3.c. Curva del coeficiente de absorción según frecuencia de un material absorbente (de nombre alveolar de 25 mm de espesor). Fuente: www.metrasoni.es	43
Gráfico 3.d. Valores de $4m_m$ en condiciones normales de presión y temperatura. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	44
Gráfico 3.e. Tiempo de reverberación. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	45
Gráfico 3.f. Curva tonal de tiempos de reverberación óptimos para distintos usos. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	48
Gráfico 3.g. Clases de salas según el nivel de presión sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	49
Gráfico 3.h. Zona de Tr común para palabra y música. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo..	49
Gráfico 6.a. Curvas de los coeficientes de absorción y reflexión. Fuente [3] Modelización, simulación y caracterización de materiales.....	79
Gráfico 6.b. Coeficientes de absorción de las clases. Fuente: www.placo.es , basada en UNE-EN ISO 11654 (1997).	81
Gráfico 6.c. Comparativa de los coeficientes de absorción de los tipos de absorbentes. Fuente [2] Guía acústica.....	85
Gráfico 6.d. Comparativa de coeficientes de absorción de una fibra de vidrio de varios espesores. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	87
Gráfico 6.e. Comparativa de coeficientes de absorción de una lana de roca de varias densidades. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	88

Gráfico 6.f. Comparativa de coeficientes de absorción de un material poroso según distancia de colocación a la superficie base. Fuente [2] Guía acústica.	89
Gráfico 6.g. Coeficiente de absorción de un resonador de membrana con y sin absorbente en la cámara. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	93
Gráfico 6.h. Ábacos para consulta de las frecuencias de resonancia. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	96
Gráfico 6.i. Curva de absorción de un resonador de cavidad según la colocación del material absorbente en la cámara. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	96
Gráfico 6.k. Coeficiente de absorción de Sediphone. Fuente: www.notson-acustica.com	138
Gráfico 7.a. Coeficientes de absorción de una cortina fruncida: (a) con una separación de 15 cm; (b) adosada. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	169

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.a.....	13
Ecuación 2.b.....	15
Ecuación 2.c.....	15
Ecuación 2.d.....	16
Ecuación 2.e.....	16
Ecuación 2.f.....	31
Ecuación 3.a.....	42
Ecuación 3.b.....	43
Ecuación 3.c.....	44
Ecuación 3.d.....	46
Ecuación 3.e.....	46
Ecuación 3.f.....	46
Ecuación 3.g.....	46
Ecuación 4.a.....	58
Ecuación 4.b.....	58
Ecuación 6.a.....	92
Ecuación 6.b.....	94
Ecuación 6.c.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.a- Emisor-medio de transmisión-receptor. Fuente: elaboración propia.....	7
Figura 2.b- Interacción de partículas. Fuente [2] Guía acústica.	8
Figura 2.c. Propagación de una perturbación. Fuente [2] Guía acústica.	9
Figura 2.d. Correspondencia de magnitudes. Fuente [2] Guía acústica.	15
Figura 2.e. Suma de niveles de presión sonora. Fuente [2] Guía acústica.	17
Figura 2.f. Encuentro de una onda con un elemento. Fuente: elaboración propia.	28
Figura 2.g. El eco flotante. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	31
Figura 2.h. Fuente sonora emitiendo en el interior de un recinto. Fuente [2] Guía acústica.	32
Figura 3.a. Campos sonoros. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.....	34
Figura 3.b. Ecograma o reflectograma. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	35
Figura 3.c. Cámara anecoica. Fuente: diario ABC, Ciencia de 19/02/2012.	37
Figura 3.d. Reflexiones de la onda sonora. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	39
Figura 3.e. Reflexión en la galería de los susurros. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.....	40
Figura 4.a. Esquema marco legislativo. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.....	51
Figura 4.b. Aspectos que contempla el DB HR. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	53
Figura 4.c. Esquema de pasos a seguir. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	54
Figura 4.d. Ficha justificativa para el cálculo del tiempo de reverberación. Fuente [N1] DH HR.	57
Figura 4.e. Cálculo del coeficiente de absorción para el techo. Fuente: Hoja de cálculo del CTE.	59
Figura 4.f. Ficha justificativa para el cálculo del coeficiente de absorción del techo. Fuente [N1] DH HR.	60
Figura 5.a. Marco normativo de la acústica en la edificación. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	62
Figura 5.b. Esquema de transmisión acústica a ruido aéreo entre dos recintos. Fuente [5] Guía de aplicación del DB HR.	64
Figura 5.c. Unidades de uso colindantes. Fuente [5] Guía de aplicación del BD HR.....	65
Figura 5.d. Tipos de elementos de separación. Fuente [N1] DB HR.....	66
Figura 6.a. Tubo de impedancia acústica. Fuente: propia.	77
Figura 6.b. Falso techo modular y perfilería vista con paneles de distintas características. Fuente: www.acusticaintegral.com	85
Figura 6.c. Revestimiento de material absorbente de una sala de máquinas para atenuación de la presión sonora. Fuente: www.pinta-elements.com	86
Figura 6.d. Absorbente poroso de estructura rígida (izquierda) y flexible (derecha). Fuente: www.metrasoni.es	87
Figura 6.e. Lana de roca (izquierda). Fuente: www.rockwool.es ; Fibra de vidrio (derecha). Fuente: www.isover.es	90
Figura 6.f. Panel resonador. Fuente [2] Guía acústica.	92
Figura 6.g. Distintos tipos de tableros usados en los resonadores. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	93

Figura 6.h. Resonador de Helmholtz o de cavidad. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	94
Figura 6.i. Resonador de cavidad múltiple en falso techo. Fuente: propia.	95
Figura 6.j. Resonador de cavidad múltiple. Fuente [3] Acústica aplicada al interiorismo.	95
Figura 6.k Resonador de cavidad múltiple con perforación en ranuras cortas. Fuente: www.soloarquitectura.com.....	97
Figura 6.l. Falso techo enlistonado. Fuente: www.woodsound.net	97
Figura 6.m. Sección transversal de un sistema resonador lineal. Fuente: elaboración propia.....	98
Figura 6.n. Ficha de características técnicas de un producto comercial. Fuente: www.eurocoustic- tendance.com	99
Figura 6.o. Techo absorbente con perfilera vista y losetas de colores. Fuente: www.eurocoustic- tendance.com.	100
Figura 6.p. Iluminación integrada en falso techo. Fuente: www.saint-gobain.com.....	101
Figura 6.q. Placas de viruta de madera de distintos tamaños. Fuente: www.amfceilings.co.uk	102
Figura 6.r. Falso techo de losetas de virutas modelo “Celenit B”. Fuente: www.maydisa.com	102
Figura 6.s. Falso techo de losetas de virutas modelo “Plano”. . Fuente: heraklith.com	103
Figura 6.t. Loseta de falso techo modelo P2363 Panel aluminio gofrado. Fuente: www.ursa.es	104
Figura 6.u. Falso techo de losetas modelo Rockfon Color-all. Fuente: www.rockfon.com.....	104
Figura 6.v. Falso techo de losetas modelo Fidji. Fuente: www.isover.es	105
Figura 6.w. Falso techo de losetas modelo Sombra. Fuente: www.saint-gobain.com.....	105
Figura 6.x. Falso techo de paneles pasillo. Fuente: www.saint-gobain.com	106
Figura 6.y Falso techo de losetas modelo Focus Flexiform. Fuente: www.saint-gobain.com	106
Figura 6.z. Junta de losetas con perfilera oculta (izquierda) y falso techo con loseta modelo Soundmosaic. Fuente: www.amfceilings.co.uk	107
Figura 6.aa. Falso techo con loseta modelo Tech Style. Fuente: www.hunterdouglascontract.com..	107
Figura 6.bb. Falso techo con losetas. Fuente: www.acousticsonic.com.....	108
Figura 6.cc. Gama de colores de paneles blandos. Fuente: www.metrasoni.es	108
Figura 6.dd. Placas modelo Difson. Fuente: www.metrasoni.es.....	109
Figura 6.ee. Placas modelos: Piramidal (izquierda), Wedges (centro) y Foam Flat (derecha). Fuente: www.ezacoustics.com	109
Figura 6.ff. Falso techo con paneles modelo Acustiart. Fuente: www.acusticaintegral.com	110
Figura 6.gg. Falso techo con paneles modelo Brisa. Fuente: www.acusticaintegral.com	110
Figura 6.hh. Falso techo de paneles modelo Absorber Plano. Fuente: www.pinta-elements.com.....	111
Figura 6.ii. Falso techo de paneles modelo Wedges. Fuente: www.auralex.com	111
Figura 6.jj. Elementos singulares planos. Fuente: www.acusticaintegral.com.....	112
Figura 6.kk. Elementos singulares curvos. Fuente: www.acusticaintegral.com.....	112
Figura 6.ll. Paneles suspendidos modelo Master Solo S. Fuente: www.ecophon.com	113
Figura 6.mm. Paneles suspendidos de la Gama Stereo. Fuente: www.texaa.com	113
Figura 6.nn. Paneles de la Serie Balance. Fuente: www.pinta-elements.com	114
Figura 6.oo. Paneles circulares suspendidos de la gama Morpason Cloud. Fuente: www.morpa.es	114
Figura 6.pp. Baffles (izquierda) y cilindro (derecha) absorbentes. Fuente: www.pinta-elements.com	115
Figura 6.qq. Baffles (izquierda) y cilindros alargados (derecha) absorbentes suspendidos. Fuente: www.pinta-elements.com.....	115

Figura 6.rr. Cilindro absorbente suspendido en horizontal. Fuente: www.grupo.jocavi.net	116
Figura 6.ss. Baffles (izquierda) gama Stereo y cubos y conos (derecha) gama Abso suspendido. Fuente: www.texaa.com	116
Figura 6.tt. Panel mural absorbente. Fuente: ecophon.com	117
Figura 6.uu. Placas modelo Metraplac. Fuente: www.metrasoni.es	118
Figura 6.vv. Paneles modelo Wall Panel A de perfilera vista. Fuente: ecophon.com	118
Figura 6.ww. Paneles modelo Phostop. Fuente: pinta-elements.com	119
Figura 6.xx. Mármol travertino. Fuente: propia.	119
Figura 6.yy. Panel flexible modelo Kalisonic. Fuente: www.calica.info	120
Figura 6.zz. Perfilillos encastrados en rastreles de madera para tensar el panel. Fuente: www.calica.info	120
Figura 6.aaa. Panel flexible modelo Acustideco. Fuente: www.acusticaintegral.com	121
Figura 6.bbb. Panel flexible modelos Ipawall M (izquierda), Metrafiber (centro) y Ipacell (derecha). Fuente: www.metrasoni.es	121
Figura 6.ccc. Panel flexible modelo Layer. Fuente: www.vicarbe.es	121
Figura 6.ddd. Panel flexible modelo Morpason Venice. Fuente: www.morpa.es	122
Figura 6.eee. Panel flexible modelo Basotect. Fuente: www.basf.com	122
Figura 6.fff. Revestimiento mural modelo Vibrasto. Fuente: www.vicarbe.com	123
Figura 6.ggg. Paneles de revestimiento. Fuente: www.atsacoustics.com	123
Figura 6.hhh. Paneles impresos. Fuente: www.deco.dal.fr	124
Figura 6.iii. Panel decorativo modelo Soundwave Geol. Fuente: www.offecct.se	124
Figura 6.jjj. Panel decorativo modelo Soundwave Swell. Fuente: www.offecct.se	125
Figura 6.kkk. Textiles. Fuente www.kvadrat.dk	126
Figura 6.lll. Material textil colocado a modo de absorbente en el techo. Fuente: www.texaa.com	126
Figura 6.mmm. Moqueta. Fuente www.kvadrat.dk	127
Figura 6.nnn. Microfibra. Fuente: www.freudenberg-nw.com	127
Figura 6.ooo. Textil modelo Wallsan. Fuente: www.comersan.com	128
Figura 6.ppp. Textil modelo Acoustic 50. Fuente: www.mermet.com.au	128
Figura 6.qqq. Textil modelo Akustik. Fuente: www.drapilux.com	129
Figura 6.rrr. Cortina en tiras. Fuente: www.texaa.com	130
Figura 6.sss. Cortinas serie Ecosin. Fuente: www.morpa.es	130
Figura 6.ttt. Cortinas. Fuente: www.telonesmadisson.com	131
Figura 6.uuu. Cortina modelo Vibrasto Acoustic Blind. Fuente: www.texaa.com	131
Figura 6.vvv. Cubo acústico modelo EZ Foam Cube. Fuente: www.ezacoustics.com	132
Figura 6.www. Pantalla absorbente. Fuente: www.recytex.de	132
Figura 6.xxx. Totems absorbentes de la serie Abso. Fuente: www.texaa.com	133
Figura 6.yyy. Elementos de la serie Stereo. Fuente: www.texaa.com	133
Figura 6.zzz. Modelos de izquierda a derecha: ConerFills, ConerFills Cubes, Sunbursts Broadband Absorbers y Sunburst- 360. Fuente: www.auralex.com	134
Figura 6.aaaa. Modelo Sunburst- 360. Fuente: www.auralex.com	134
Figura 6.bbbb. Series: North Tiles y Clouds. Fuente: www.kvadrat.dk	135

Figura 6.cccc. Modelo Wannabetree. Fuente: www.glimakra.com	135
Figura 6.dddd. Mampara serie Phonotex. Fuente: www.clippersystem.it	136
Figura 6.eeee. Modelo Viswall. Fuente: www.sedus.es	136
Figura 6.ffff. Mortero acústico en edificio singular. Fuente: www.notson-acustica.com	137
Figura 6.gggg. Falso techo de placas caladas. Fuente: www.elalteron.com	139
Figura 6.hhhh. Modelos: Keops Acustica (izquierda) y Space (derecha). Fuente: www.elalteron.com	139
Figura 6.iiii. Modelos: Crou (izquierda) y Crou 2 (derecha). Fuente: www.elalteron.com	140
Figura 6.jjjj. Modelos: Nápoles Acustica (izquierda) y Paris (derecha). Fuente: www.yesyforma.es ..	140
Figura 6.kkkk. Modelos: Silencio Cairo (izquierda) y Silencio Coral (derecha). Fuente: www.yesyforma.es	141
Figura 6.llll. Falso techo continuo con perfilera oculta. Fuente: www.pladur.com	142
Figura 6.mmmm. Falso techo perforado. Fuente: www.pladur.com	143
Figura 6.nnnn. Placas modelo Pladur Fon. Fuente: www.pladur.com	143
Figura 6.oooo. Placas modelo Pladur Fon Decor. Fuente: www.pladur.com	144
Figura 6.pppp. Falso techo registrable con perforaciones en bloque. Fuente: www.pladur.com	144
Figura 6.qqqq. Placas para falso techo continuo modelos: Rigiton 6/18 Velo blanco (izquierda), Rigiton 15/30 (derecha). Fuente: www.placo.es	145
Figura 6.rrrr. Placas para falso techo registrable modelos: Quattro 22 (izquierda), Line 4 (derecha). Fuente: www.placo.es	145
Figura 6.ssss. Placas para falso techo continuo modelos: Line tipo 6 (izquierda), Quattro 47 (derecha). Fuente: www.placo.es	145
Figura 6.tttt. Placa modelo Knauf Danoline (izquierda) y Knauf Cleaneo (derecha). Fuente: www.knauf.es	146
Figura 6.uuuu. Falso techo continuo con placas Knauf Cleaneo. Fuente: www.knauf.es	146
Figura 6.vvvv. Falso techo de madera perforado. Fuente: www.amfceilings.co.uk	147
Figura 6.wwww. Falso techo de madera acanalado. Fuente: www.taor.es	147
Figura 6.xxxx. Falso techo de rejilla (izquierda) y enlistonado (derecha) de madera. Fuente: www.hunterdouglascontract.com	148
Figura 6.yyyy. Modelos de izquierda a derecha: Ideacoustic 8, 16 y 32. Fuente: www.taor.es	148
Figura 6.zzzz. Modelos de izquierda a derecha: Ideacoustic Color DM crudo, naranja y azul. Fuente: www.taor.es	149
Figura 6.aaaaa. Sistema de clisado y vista del modelo Ideapyl. Fuente: www.taor.es	149
Figura 6.bbbbb. Modelo Panel Rejilla. Fuente: www.taor.es	150
Figura 6.ccccc. Modelo Idealux. Fuente: www.taor.es	150
Figura 6.ddddd. Clipado modelo Spigo Acustic. Fuente: www.carpinteriapaco.com	150
Figura 6.eeeee. Distintos formatos de perforaciones. Fuente: www.carpinteriapaco.com	151
Figura 6.fffff. Modelo Virgo 74 colocado. Fuente: www.carpinteriapaco.com	151
Figura 6.ggggg. Modelo Arboç colocado. Fuente: www.woodsound.net	151
Figura 6.hhhhh. Modelo Arboç colocado. Fuente: www.woodsound.net	152
Figura 6.iiiii. Detalles de montaje de los paneles acústicos Notsound. Fuente: www.notson-acustica.com	152
Figura 6.jjjjj. Modelo Auditorium. Fuente: www.prodema.com	153

Figura 6.kkkkk. Modelos de izquierda a derecha Universel, Intemporel y Crèatif. Fuente: www.tavapan.ch	153
Figura 6.IIIII. Gama Screenball. Fuente: www.pream.it	154
Figura 6.mmmmm. Sistema Lineal abierto (izquierda) y Grid (derecha). Fuente: www.hunterdouglascontract.com	154
Figura 6.nnnnn. Falso techo metálico con perforaciones cuadradas. Fuente: www.knauf.es.....	155
Figura 6.ooooo. Posición de lamas descolgadas (izquierda) o enrasadas (derecha). Fuente: www.knauf.es	156
Figura 6.ppppp. Retícula o cuadrícula. Fuente: www.knauf.es	156
Figura 6.qqqqq. Falso techo metálico de metal desplegado. Fuente: www.pinta-elements.com.....	157
Figura 6.rrrrr. Falso techo metálico. Fuente: www.armstrong.es.....	157
Figura 6.sssss. Falso techo metálico. Fuente: www.armstrong.es	157
Figura 6.ttttt. Falso techo registrable modelo Ras. Fuente: www.knauf.es	158
Figura 6.uuuuu. Falso techo registrable modelo Macroc��lulas. Fuente: www.knauf.es.....	158
Figura 6.vvvvv. Techo metálico Modelo Durlum. Fuente: www.hunterdouglascontract.com	159
Figura 6.wwwww. Techo metálico serie Lineal modelo Multipanel. Fuente: www.hunterdouglascontract.com	159
Figura 6.xxxxx. Techo metálico de soporte curvo. Fuente: www.hunterdouglascontract.com	159
Figura 6.yyyyy. Paneles modulares Acustison 50��. Fuente: www.acusticaintegral.com	160
Figura 6.zzzzz. Falso techo metálico desplegado. Fuente: www.pinta-elements.com.....	160
Figura 6.aaaaa. Composición del tambor acústico fonoabsorbente. Fuente: www.duralmond.com	161
Figura 6.bbbbbb. Modelos del tambor acústico fonoabsorbente. Fuente: www.duralmond.com	161
Figura 6.cccccc. Falso techo modelo Infinito 24/6. Fuente: www.decordyn.com	162
Figura 6.ddddd. Falso techo modelo Reticular 65. Fuente: www.decordyn.com	162
Figura 7.a. Suelo Técnico. Fuente: www.ibermodul.com	165
Figura 7.b. Falso techo continuo. Fuente: propia.....	168
Figura 7.c. Modelización para la simulación acústica urbana utilizado en el ámbito del método SICAE. [16].....	174
Figura 7.d. ��rbol de toma de decisión genérico. Fuente: Folleto de información del MIVES para el II Congr��s Internacional de Mesura i Modelització de la Sostenibilitat	177
Figura 7.e. Cuestionario subjetivo. Fuente [17] Tesis doctoral de Enrica D'aula.	180
Figura 8.a. Situación de Lagar1. Fuente: Google Earth.	183
Figura 8.b.Croquis de Lagar1. Fuente: propia.	184
Figura 8.c. Breve reportaje fotográfico de Lagar1. Fuente: propia.	185
Figura 8.d. Situación de Lagar1. Fuente: Google Earth.	187
Figura 8.e. Croquis de Lagar2. Fuente: propia.	188
Figura 8.f. Breve reportaje fotográfico de Lagar2. Fuente: propia.	189
Figura 8.g. Detalle de las perforaciones en el techo. Fuente: propia.	189

